

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la

Recherche Scientifique

Université El Hadj Lakhdar

Batna

Faculté des sciences

Département d'agronomie

**MÉMOIRE DE MAGISTÈRE
EN SCIENCES AGRONOMIQUES**

Option : Gestion durable des écosystèmes forestiers

**Facteurs d'échec et de réussite des reboisements
de pin d'Alep dans trois stations : Ain-Touta,
Tazoult et Bouilef**

**Présenté par :
Mlle. CHERAK Imen**

Soutenu le : 26 /10 /2010

Devant la commission d'examen :

Mr. OUDJEHIH B.	Prof.	Université de Batna	Président
Mr. BENTOUATI A.	M.C (A)	Université de Batna	Rapporteur
Mr. OLDACHE E.H	M.C (A)	ENSA (Ex INA, Alger)	Examineur
Mr. BENS Aid. R	Prof.	Université de Skikda	Examineur
Mr. MALKI. H	M.C (B)	Université de Batna	Invité

Année universitaire : 2010

REMERCIEMENT

Louange à Dieu qui m'a aidé à réaliser ce modeste travail, et qui m'a toujours guidé vers le droit chemin.

Avant tout, mes remerciements et mes profondes gratitude s'adressent en premier lieu à mes parents surtout à mon père.

Je tiens à remercier Dr *BENTOUATI. A* pour avoir accepté de m'encadrer, je le remercie également pour toute l'aide qu'il m'a apportée et pour tout le savoir qu'il m'a prodigué dans le cadre de ce travail.

Ma profonde reconnaissance à Mr. *OUDJHIH. B*, pour avoir accepté de présider le jury de soutenance.

Je tiens également à remercier Mr. *BENSAID R.*, Mr. *OLDACHE. H* et Mr. *MALKI. H* qui ont voulu examiner ce travail.

Toute ma reconnaissance et mes remerciements vont à Dr *Steeve Woodward* de m'avoir invité et accueilli au niveau de l'université d'Aberdeen pour avoir des informations complémentaires sur mon thème d'étude sans oublier Dr *Louise Page* qui m'a beaucoup aidé.

Je voudrais également exprimer mes remerciements à Mr *MEHMAHI T.* de m'avoir accompagné sur le terrain pour la réalisation des relevés.

J'exprime ma profonde gratitude à tous mes enseignants qui ont participé à ma formation pendant toutes mes années d'étude.

A tous ceux qui m'ont aidé du secteur forestier, je dis merci.

Je remercie toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

SOMMAIRE

Introduction Générale	01
-----------------------------	----

PREMIERE PARTIE : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ESSENCE

1. Aire de répartition du pin d'Alep	03
2. Phénologie	06
3. Régénération du pin d'Alep.....	06
4. Plasticité écologique	06
5. Comportement hydrique estival	08
6. Ravageurs et maladies	08
7. La croissance et les accroissements en volume du pin d'Alep	09
8. Sylviculture du pin d'Alep	10

CHAPITRE II : LES REBOISEMENTS

1-Définition d'un reboisement	13
2-Les buts et les objectifs d'un reboisement	13
3-Les objectifs du boisement artificiel	13
4- Les étapes d'un reboisement	14
5. Modalités de reboisement.....	15
6. Historique du reboisement en Algérie.....	15
7. Facteurs susceptibles de menacer la réussite des Plantations.....	17

CHAPITRE III : TYPOLOGIE DES STATONS FORESTIERES

1 - Rappels de quelques notions fondamentales.....	18
2 - Démarche méthodologique	18
2-1 La pré-étude	18
2-2 Le travail de terrain	19
2-3 Les méthodes d'analyse des données.....	20

2-4 L'établissement de la typologie	20
2-5 La présentation des résultats	21
2-6 Tests et vulgarisation.....	22

DEUXIEME PARTIE : PARTIE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I: Matériels et méthodes de travail

I. Sites d'étude	23
I.1 -Situation géographique et administrative.....	23
I.2 La géologie et la pédologie	26
I.3 Le climat.....	27
I.4. Historique des reboisements	36
II. Méthodes de travail.....	37
II-1Collecte des données	38
II-1-1 les variables topographiques	38
II-1-2 Les variables dendrométriques.....	38
II-2 Calculs effectués.....	39
II-3 les relevées pédologiques	43
II-3-1 les analyses chimiques du sol.....	43
II-3-2 Les analyses physiques.....	45

CHAPITRE II : Résultats et discussion

I- Effet de la densité sur la croissance du peuplement	47
I-1 Structure des peuplements étudiés	47
I-2 Caractéristiques dendrométriques des placettes échantillonnées.....	50
II- Modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep.....	56
II-1 Reconstitution de la croissance en hauteur dominante et en diamètre d'un peuplement	57
II-2 Fixation de l'âge de référence	58

II-3 Ajustement du modèle de Chapman – Richards.....	58
II-4 Etablissement des classes de croissance.....	59
II-5 Discussion.....	60
III- Effet des facteurs du milieu sur la croissance des peuplements du pin d'Alep	63
III-1 Le sol.....	63
III-2 La croissance du pin d'Alep en relation avec le sol.....	71
III-3 La croissance du pin d'Alep en relation avec le climat	73
III-4 La croissance du pin d'Alep en relation avec le relief.....	73
IV- L'analyse en composantes principales.....	74
Conclusion générale	
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des tableaux

PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur l'essence d'étude

Tableau N°01 : Répartition du pin d'Alep dans quelques pays du monde..... 04

Tableau N°02 : Hypothèse de modèle de culture pour plantations de pin d'Alep Densité initiale 2222 et 1600 plantes par hectare 11

Tableau N°03 : Calendrier des éclaircies proposées pour la pinède de Ouled Yagoub 11

DEXIEME PARTIE : Partie expérimentale

CHAPITRE I Matériels et méthodes de travail

Tableau N°04: présentation des caractères géographiques pour chaque station d'étude 23

Tableau N°05: présentation des valeurs de précipitation des stations d'étude..... 28

Tableau N°06: le minima et le maxima des températures des stations d'étude 30

Tableau N°07: Moyenne mensuelle de la force du vent 1989-2008 32

Tableau N°08: Nombre de jours de gelées mensuelles et annuelles de 1989-2008 32

Tableau N°09 : nombre de jour de grêle moyens par mois et par année 1989-2009 32

Tableau N°10: nombre de jour de neige moyen par mois et par année 1989-2009 33

Tableau N°11: classification de type de climat selon Indice de Stewart 33

Tableau N°12: la valeur «Q» selon les stations 34

CHAPITRE II Résultats et discussions

Tableau N° 13: Paramètres statistiques des variables dendrométriques 50

Tableau N°14: Caractéristiques dendrométriques moyennes des classes de croissance..... 60

Tableau N°15: Présentation des classes de fertilité..... 61

Tableau N°16: Présentation du profil de la station *Djebel Bouarif*..... 64

Tableau N°17: Les propriétés physiques et chimiques du sol de la station	
du <i>Djebel Bouarif</i>	65
Tableau N°18: Présentation du profil de la station <i>Bouadloune</i>	67
Tableau N°19: Présentation du profil de la station Berriche	67
Tableau N°20: Caractéristiques physiques et chimiques des sols	68
Tableau N°21: Etude du profil de la station Benboulaid	69
Tableau N°22: présentation de profil de Garouaou	69
Tableau N°23: Les propriétés physiques et chimiques des sols de la station	
Benboulaid et Garouaou	70

Liste des figures

PREMIERE PARTIE : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Généralités sur l'essence d'étude

Figure N 01 : Aire de répartition du pin d'Alep et du pin Brutia..... 03

Figure N 02 : Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie 05

Chapitre II : Les reboisements

Figure N 03 : Les buts et les objectifs d'un reboisement 13

Figure N 04: Différentes étapes d'un reboisement..... 15

DEXIEME PARTIE : Partie expérimentale

CHAPITRE I Matériels et méthodes de travail

Figure N° 05: localisation des stations d'étude 23

Figure N° 06: vue dans la station Benboulaid..... 24

Figure N° 07: vue dans la station Bouadloune 25

Figure N° 08: vue dans la station Garouaou..... 25

Figure N° 09: vue dans la station Berriche..... 26

Figure N° 10: vue dans la station Djebel Bouarif 26

Figure N°11 : répartition de la pluviométrie moyenne mensuelle en mm..... 28

Figure N 12: Précipitation annuelle en mm pour chaque station étudiée..... 29

Figure N°13 : répartition de la température moyenne mensuelle en degrés 29

Figure N 14: Températures minimales et maximales durant la période de 1979 à 2009 30

Figure N°15 : diagramme ombrothermique de GAUSSEN 31

Figure N° 16: Projection des stations dans le climagramme d'EMBERGER..... 35

Figure N° 17 : Modèle de croissance hauteur – âge..... 42

Figure N° 18 : Description d'un profil 45

Figure N°19: Présentation de la Structure globale des stations d'étude.....	47
Figure N°20: Structure de la station <i>Djebel Bouarif</i>	49
Figure N°21: Structure de la station <i>Berriche</i>	49
Figure N°22: Structure de la station <i>Bouadloune</i>	49
Figure N°23: Structure de la station <i>Benboulaid</i>	49
Figure N°24: Structure de la station de <i>Garouaou</i>	49
Figure N°25 : la hauteur moyenne par parcelle.....	51
Figure N°26 : la hauteur moyenne-facteur d'espacement.....	51
Figure N°27: Nombre á l'hectare en fonction du diamètre moyen.....	52
Figure N°28: diamètre moyen des arbres des parcelles.....	52
Figure N°29: le diamètre moyen en fonction de facteur d'espacement.....	53
Figure N°30: le volume moyen en fonction de la hauteur dominante.....	53
Figure N°31: facteur de stabilité en fonction de facteur d'espacement.....	54
Figure N°32: facteur d'élancement en fonction d'espacement moyen.....	55
Figure N°33: Relation entre le diamètre á 1,30m et le diamètre du houppier.....	55
Figure N°34: facteur de compétition des houppiers en fonction du facteur d'espacement.....	56
Figure N°35 : faisceau de courbes expérimentales de la hauteur dominante.....	57
Figure N°36: faisceau de courbes expérimentales des diamètres.....	58
Figure N°37: classes de croissance pour le pin d'Alep.....	59
Figure N°38: Projection des variables sur les plans factoriels.....	75
Figure N°39: projection des individus sur le plan factoriel.....	76

Liste des abréviations

- RC:**Djebel Bouarif
- BO:**Bouadloune
- BE:**Benboulaid
- B:**Berriche
- G:**Garouaou
- dm :**diamètre moyen
- dg :**diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne
- hg =**Hauteur de l'arbre de surface terrière moyenne
- hdom:**hauteur dominante
- N/ha =**nombre d'arbres par hectare
- G/ha =**Surface terrière par hectare (m^2/ha)
- V₂/ha =** ... Volume par hectare (m^3/ha)
- Amv =**Accroissement moyen en volume ($m^3/ha/an$)
- H/D =**Facteur d'élancement
- S% =**Facteur d'espacement
- d_{1,30} =**Diamètre à 1,30 m
- d_{0,5} =**Diamètre à mi - hauteur
- p/ha :**Plants á l'hectare
- CCF :**Le facteur d'espacement du houppier
- a :**Espacement moyen
- Hh :**hauteur du houppier
- Dh :**diamètre du houppier
- O.N.T.F :** Office National des Travaux Forestiers.

INTRODUCTION

En Algérie, le pin d'Alep constitue l'essence principale des formations forestière, il occupe plus de 35% de la superficie forestière globale du pays .De part sa plasticité et de ses faibles exigences, le pin d'Alep reste l'espèce la plus utilisée dans les reboisements et dans la reconstitution des zones dégradées. Son rôle se manifeste par la fixation du sol par les racines d'une part et par la formation d'un couvert végétal assez large protégeant ce sol contre les pluies torrentielles d'autre part. Il s'accommode à tous les sols, lorsque les conditions climatiques lui sont favorables (**SEIGUE, 1985 ; BENTOUATI et al, 2005**).

Après l'indépendance, l'Algérie a hérité d'un patrimoine forestier détruit par des incendies, causées par le colonialisme. De ce fait, elle a engagé de gros travaux de reboisement á travers le territoire national, l'exemple le plus significatif de l'ampleur de son utilisation reste celui de barrage-vert. Les résultats obtenus n'étaient pas satisfaisants dans la plupart des zones d'introduction et loin des objectifs assignés (**LETREUCH, 1991**). L'échec constaté est lié le plus souvent à la méconnaissance du comportement de l'espèce vis-à-vis des facteurs du milieu.

Les espèces végétales sont sensibles aux variations importantes du milieu naturel. Ces variations d'ordre climatique, édaphique, topographique, etc.... conditionnent leur présence et leur croissance. Ainsi le choix des espèces forestières reste en grande partie dépendant du milieu.

A cet effet, pour évaluer les potentialités d'une essence, on fait appel généralement á la hauteur dominante. Celle-ci reste le meilleur critère d'adaptation de l'essence forestière concernée quel que soit l'objectif (production de bois, défense contre les incendies, paysage, etc...). Elle est fortement dépendante des conditions du milieu (sol, climat, topographie, etc...).

Dans ce sens, plusieurs études sur le comportement et les exigences écologiques du pin d'Alep ont été réalisées; nous pouvons citer celles effectuées par **DEL CAMPO et al (2007)**, **Jose I et al (2008)** en zones semi arides de l'Espagne et **BROCHIERO (1997)** en Provence calcaire (France). Toute fois, peu de travaux ont apporté des informations pouvant expliquer les échecs constatés. En plus des fortes sécheresses estivales que connaît le milieu

méditerranéen (**DAGET, 1977**), s'ajoute aussi l'absence des interventions sylvicoles adéquates.

L'étude que nous avons entreprise sur 5 stations permet d'apporter un premier bilan sur les conditions de croissance de l'espèce dans les reboisements. L'approche utilisée est basée sur l'étude et l'analyse de tous les paramètres de la station pouvant influencer sur le déterminisme de la croissance du pin d'Alep. Les résultats attendus de cette analyse permettent de réaliser un diagnostic écologique et de connaître les aptitudes du milieu. Cela permet aussi de mieux cibler les interventions. Cette approche a été largement utilisée dans le sud de la France pour étudier le comportement du pin d'Alep vis-à-vis des facteurs du milieu (**RIPPERT et VENNETIER, 2001 ; BROCHIERO, 1997**) et en Espagne (**DEL CAMPO et al, 2007**); de même que le cèdre de l'Atlas, le pin pignon et le pin brutia (**BOISSEAU, 1996**) ; ont fait l'objet d'une analyse approfondie et des catalogues sur le comportement et les exigences écologiques des espèces ont été réalisés.

L'intérêt de cette étude sur la typologie et l'autoécologie du pin d'Alep s'inscrit dans le cadre de l'évaluation des potentialités forestières des zones d'Ain-touta, Bouilef et Tazoult. L'objectif est donc l'estimation des potentialités du milieu sur la croissance du pin d'Alep.

Pour la réalisation de cette étude nous avons adopté un plan de travail qui se résume comme suit :

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Présentation de l'essence d'étude

Chapitre II : Les reboisements en Algérie

Chapitre III : Typologie des stations forestières

Deuxième partie : Partie expérimentale

Chapitre I : Matériels et méthodes de travail

Chapitre II : Résultats et discussions

1- Aire de répartition du pin d'Alep:

Le pin d'Alep est l'essence la plus largement utilisée dans les reboisements pour la protection des sols. C'est une essence qui résiste à la sécheresse et peu tolérante aux autres facteurs à savoir les sols peu fertiles, climat aride, etc. (SIMON et NAVARRETE, 1990). Il colonise pratiquement la plupart des zones subhumides et semi-arides, il est cependant largement utilisé dans les stations les plus diverses, la surface qui lui est consacrée chaque année en Algérie dans les reboisements dépasse 20 000 hectares, soit environ de 40 000 000 de plants mis en terre (KADIK, 1987).

1-1 Dans le monde

L'aire de répartition du pin d'Alep est limitée au bassin méditerranéen (Fig. N°01) et occupe plus de 3,5 millions d'hectares (QUEZEL, 1980 et 1986).

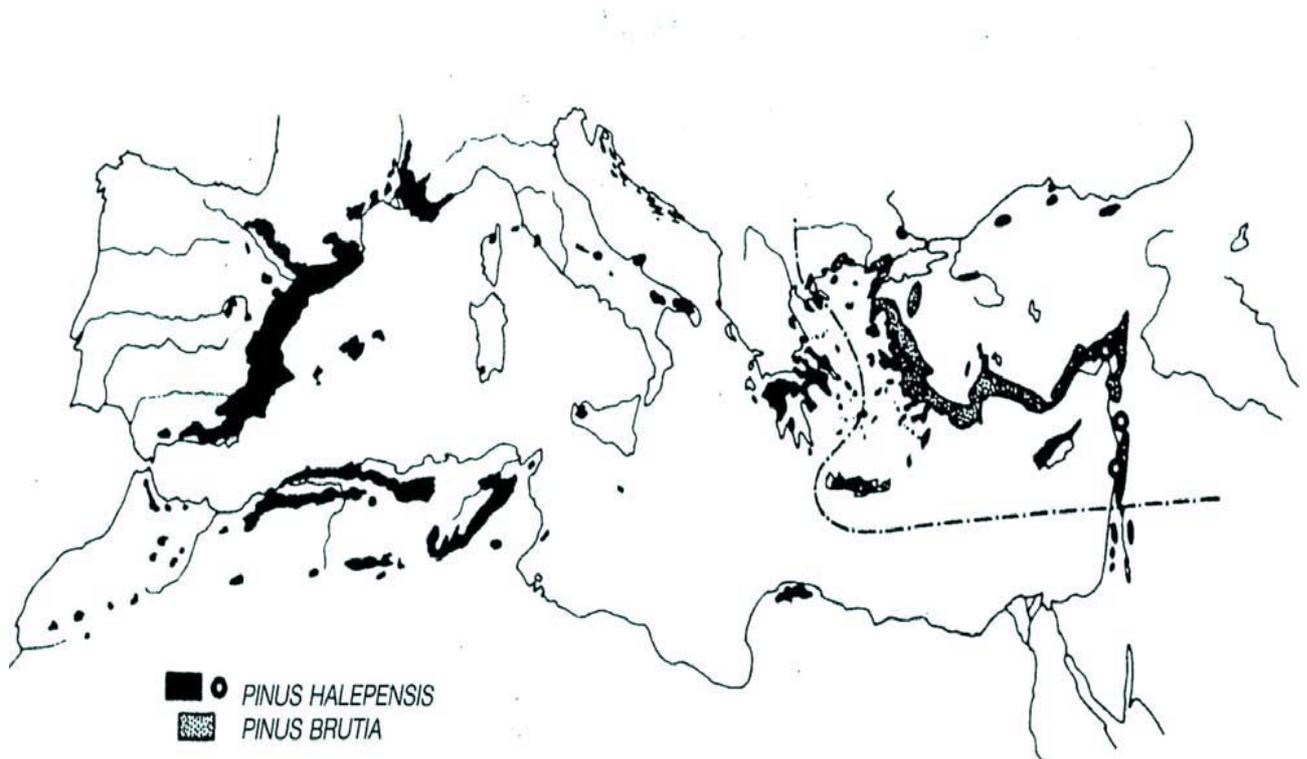


Fig. N°01 : Aire de répartition du pin d'Alep et du pin Brutia (QUEZEL, 1986).

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).

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**). 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 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 N°01: Répartition du pin d'Alep dans quelques pays le monde

Pays	Superficie (ha)	Source
Algérie	800 000	MEZALI (2003)
Tunisie	170 000 à 370 000	CHAKROUN (1986), AMMARI (2001)
France	202 000	COUHERT et DUPLAT (1993)
Espagne	1 046 978	MONTERO (2001)
Italie	20 000	SEIGUE (1985)
Grèce	330 000	SEIGUE (1985)

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 (1952)**, 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. N°02**). 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 et 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.

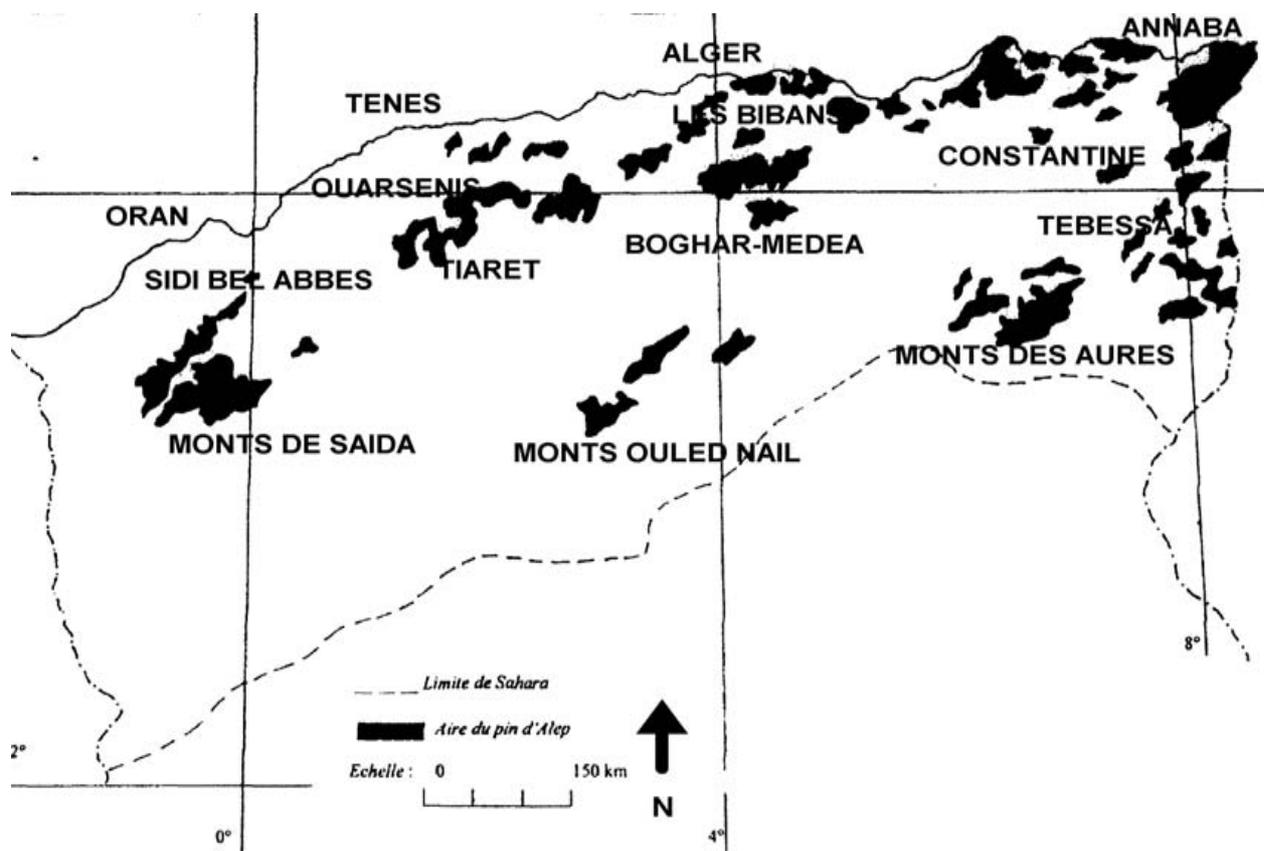


Fig. N°02: Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie (**BENTOUATI, 2006**).

2- Phénologie :

Les cônes mûrissent au cours de la deuxième année et laissent le plus souvent échapper leurs graines au cours de la troisième année (NAHAL, 1962 ; FRANCELET, 1970). La dissémination naturelle des graines a lieu entre la fin du mois d'août et la fin du mois d'octobre (FRANCELET, 1970). La germination peut avoir lieu, soit à la fin de l'automne, soit au début du printemps (CALAMASSI et al, 1984).

3- Régénération du pin d'Alep

Pendant la saison humide, les graines de pin d'Alep germent rapidement et en masse. La mortalité est forte chez les jeunes semis, notamment au cours des deux premières années, mais la grande production de semences et leur taux de germination élevé permettent de compenser ces pertes (NAHAL, 1962 ; ACHERAR et al, 1984). Ces semis ont besoin de lumière, mais un léger couvert leur est plutôt favorable. Ils sont capables de s'installer sur la plupart des types de sol, mais un recouvrement important des herbacées leurs est très défavorable. La régénération sous pinèdes, même dense, ne pose aucun problème car l'éclaircissement reste suffisant.

ACHERAR (1981), affirme qu'en France le pin d'Alep ne se régénère que difficilement sous son propre couvert où il est le plus souvent remplacé par *Quercus ilex* ou *Quercus pubescens*.

Le pin d'Alep n'a absolument pas besoin du feu pour se régénérer. Ce dernier possède toutefois une gamme d'adaptations qui lui permettent de se régénérer rapidement après un incendie (ACHERAR, 1981). Le feu provoque l'éclatement de ces cônes et favorise la dispersion des graines grâce au déplacement turbulent de masses d'air chaud qui peuvent transporter les graines sur des distances importantes ; ainsi il ouvre le couvert végétal, supprimant ainsi pour un temps la compétition avec le reste de la végétation.

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

4- Plasticité écologique

Le pin d'Alep est une des essences méditerranéennes qui offre une plasticité écologique, puisqu'il a réussi à coloniser tous les substrats et également présent dans la majorité des variantes bioclimatique méditerranéenne (QUEZEL, 1986).

Il pousse dans des zones où les précipitations annuelles sont comprises entre 200 et 1500 mm. La pluviométrie ne semble pas être un facteur déterminant de la répartition de l'espèce, même si c'est entre 350 et 700 mm de précipitation annuelle qu'elle présente son développement optimal (**QUEZEL et al, 1987**). Cependant, même si le pin d'Alep est indifférent à la quantité des précipitations, il n'en reste pas moins, parmi les essences provençales, celle qui est la mieux adaptée à la sécheresse.

Un des facteurs climatiques majeurs limitant l'expansion du pin d'Alep est la température. On le rencontre dans des gammes de températures moyennes annuelles allant de 11 à 19 °C, ce qui correspond à peu près à des moyennes des minima du mois le plus froid comprises entre -2 et +6 °C. Le pin d'Alep peut supporter des froids accidentels de -15 à -18 °C, à condition qu'ils restent exceptionnels et de courte durée (**NAHAL, 1962**). Alors que d'après une étude faite par **BROCHIERO (1997)**, en Provence calcaire, les températures fraîches (température moyenne annuelle < 11°C) et les altitudes > 700 m sont défavorables à la croissance du pin d'Alep.

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

On trouve également le pin d'Alep sur des sols très variés qui vont des lithosols (recolonisation d'éboulis pas exemple) aux sols évolués profonds (recolonisation de terrasses par exemple). Si la profondeur du sol est directement corrélée au niveau de production des peuplements, il n'existe par contre pas de relation entre cette profondeur et la présence ou l'absence de pin d'Alep (**ABBAS et al. 1985a, b**).

Les arbres qui se développent sur sol pauvre sont tout de même généralement chétifs et clairsemés (**NAHAL, 1962**).

Le pin d'Alep supporte beaucoup mieux que la plupart des autres essences provençales un taux élevé de calcaire actif (**LOISEL, 1976**). Il tolère très mal les sols sablonneux, sans doute en raison de l'assèchement trop intense qu'ils subissent durant l'été. Il ne tolère pas non plus la présence de nappes aquifères permanentes qui provoquent l'asphyxie de son système racinaire (**QUEZEL, 1986**).

En Provence calcaire, la croissance en hauteur dépend en premier lieu du bilan hydrique stationnel (**BROCHIERO, 1997**).

Selon un rapport fait par **RIPERT et VENNETI (2001)**, sur la croissance et écologie du pin d'Alep en France, on déduit que cette croissance dépend principalement du bilan hydrique local, topographique et édaphique. Le climat joue aussi un rôle important à l'échelle régionale : les régions chaudes et humides sont les plus favorables, les zones d'altitude ou de latitude élevées sont défavorables car trop froides avec une courte saison de végétation.

Une étude faite par **INCLA et al (2005)** a fait ressortir que le stress hydrique diminue la croissance du pin d'Alep.

5- Comportement hydrique estival :

Il s'agit là d'un des critères éco-physiologiques fondamentaux en région méditerranéenne. L'existence d'une période de déficit hydrique estival est sans doute le caractère majeur du climat méditerranéen (**QUEZEL, 1980**), et le facteur limitant essentiel pour le développement des écosystèmes forestiers.

AUSSENAC et VALETTE (1982), ont mis en évidence que le Pin d'Alep limite ses pertes transpiratoires en fermant progressivement ses stomates, ce qui lui permet de résister à des dessèchements importants.

Chez les plantules de Pin d'Alep, **MUGNOZZA (1986)**, a mis en évidence l'existence d'un fort coefficient de corrélation entre la transpiration et le potentiel hydrique du sol, et a affirmé que les semis sont très résistants à la sécheresse. En conditions naturelles, dans les pinèdes étudiées par le même auteur, le potentiel de sève est presque toujours supérieur aux valeurs critiques de dessèchement ; c'est pour ça qu'on pense que l'eau ne représente pas le facteur limitant la régénération.

Dans les pinèdes adultes, l'éclairement semble jouer un rôle plus important pour le succès de la régénération. Le Pin d'Alep a montré un fort contrôle de l'activité stomatique avec une sensible augmentation de la résistance foliaire à partir de -16 bars de potentiel de base. En tout cas, la transpiration ne devient presque nulle qu'à des potentiels de base de -20 à -25 bars.

6- Ravageurs et maladies :

6.1 Le contexte climatique :

Parmi les différents facteurs qui peuvent affecter le pin d'Alep, ce sont les facteurs climatiques qui jouent le rôle le plus important. Les accidents climatiques ont des conséquences directes sur l'essence et favorisent souvent l'intervention de facteurs entomologiques ou pathologiques aggravants.

6.2 Les facteurs entomologiques : Selon **BROCHIERO (1997)**, Ils ne représentent pas un facteur limitant de pin d'Alep, mais peuvent périodiquement et localement affaiblir les peuplements. Les ravageurs cités ci-dessous ne sont pas spécifiés du pin d'Alep.

- **La processionnaire du pin** (*Thaumetopoea pityocampa*). Lors de ses pullulations cycliques, elle peut provoquer des défoliations importantes sur pin d'Alep. Toutefois, ces dégâts qui entraînent une perte de production menacent que très rarement la pérennité des peuplements.
- **Les cochenilles des aiguilles** (*Leucaspis sp*). Ces insectes piqueurs-suceurs s'observent sur les aiguilles. Leurs pullulations, généralement observées en période sèche, ne causent que rarement des dégâts spectaculaires.
- **L'hylésine des pins** (*Tomicus pinierda ou destruens*). Ce scolyte peut représenter une menace pour les peuplements de pin d'Alep affaiblis par le gel, la sécheresse ou le passage du feu. Généralement, ces insectes sous-corticaux se multiplient sur des arbres abattus ou blessés.
- **Autres scolytes** (*Tomicus minor, Orthotoicus erosus*). Ils peuvent également s'attaquer au pin d'Alep.
- **La tordeuse des pousses** (*Rhyacionia buoliana*). Les attaques les plus spectaculaires de ce lépidoptère, non spécifique du pin d'Alep, s'observent sur les peuplements affaiblis par des dessèchements de rameaux en cime des arbres.

6.3 Les facteurs fongiques :

L'incidence des facteurs fongiques est souvent moins spectaculaire que les attaques d'insectes. Ils peuvent cependant constituer à moyen terme des facteurs limitant plus préoccupants.

- **La rouille vésiculeuse de l'écorce** (*Conartium flaccidium*) est assez commune sur le pin d'Alep, n'occasionnant que peu de dégâts (dessèchement de rameaux).
- **Le chancre des rameaux** (*Crumenulopsis sororia*) peut contaminer de façon spectaculaire le pin d'Alep durant les périodes humides.
- **Le fomes** (*Heterobasidion annosum*). Ce champignon apparaît généralement dans les peuplements affaiblis par la sécheresse ou blessés par la grêle. Cet agent de dessèchement est souvent observé sur des rameaux desséchés. Il est souvent associé à *Crumenulopsis sororia* et à *Sclerophoma pithyophila* sur des arbres dépérissants.

7- La croissance du pin d'Alep :

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

Selon **SERRE-BACHET (1976 a et b)** ; **NICAULT et al (2001)** les mois de mai et juin correspondent à la période de croissance (radiale et apicale) maximale. La période de croissance est stoppée par la sécheresse vers le mois de juillet. En automne les rameaux ne semblent s'allonger que très peu. La croissance radiale par contre reprend de façon significative (**NICAULT et al, 2001**).

La croissance radiale annuelle d'un arbre dépend des caractéristiques physico-chimiques de la station où il est installé, des conditions climatiques et de la compétition au sein du peuplement dont il fait partie (**BECKER, 1989**).

La croissance en hauteur se poursuit au-delà de 100 ans ; elle est en moyenne de 14 à 18 cm par an de 1 à 100 ans, mais est plus faible dans les 25 premières années (**BOUDY, 1952**). En Tunisie, un ralentissement de la hauteur est précoce vers l'âge de 50-70 ans (**SOULERS, 1969**). Par contre la croissance du pin d'Alep diminue à partir de 80 ans dans les pays européens (**BEDEL, 1986**). Alors qu'une étude faite par **BENTOUATI (2006)** à Ouled Yakoub révèle une diminution en hauteur au delà de 70 ans avec une hauteur moyenne de 15m.

En Algérie le volume atteint 1.20 m³ à 1.50 m³ dans de bonnes conditions de sol et végétation (**BOUDY, 1952**). L'accroissement annuel des peuplements ne peut être fixé qu'approximativement. Dans les forêts naturelles l'accroissement moyen est relativement faible de 0,5 à 3-4 m³/ha/an (**BOUDY, 1952 ; SOULERS, 1969**). Ce qui a été affirmé par **BENTOUATI (2006)** en pinède d'Ouled Yakoub (de 0,5 m³/ha/an à 4,8 m³/ha/an avec une moyenne de 2 m³/ha/an pour un âge de 70 ans).

Au Maroc pour un âge de 60 ans l'accroissement moyen est chiffré entre 0,7 m³/ha/an et 1,4 m³/ha/an (**BELGHAZI et al, 2000**).

8- Sylviculture du pin d'Alep :

Une hypothèse de modèle cultural ou de modèle de gestion des plantations avec finalité productive prévoit des éclaircies (à 12, à 19 et à 27 ans) et la coupe finale à 40 ans environ. Le modèle prévoit une densité finale de 400 plants par hectare et un produit total, en bonnes conditions de fertilité, de 430-450 m³ par hectare (**ORAZIO, 1986**). L'intensité des éclaircies se diffère selon la densité de plantation et l'âge qu'on peut résumer dans le tableau suivant :

Tableau N°02: Hypothèse de modèle de culture pour plantations de pin d'Alep, densité initiale 2222 et 1600 plants par hectare (**ORAZIO, 1986**).

Age/an Densité/ha	12		19		27		40
	%	N/ha	%	N/ha	%	N/ha	N/ha
1600	33	1600	40	1070	38	642	400
2222	50	2222	40	1111	40	667	400

Le pin d'Alep, essence de lumière, sera traité en futaie régulière. Ce traitement, rendant économiquement possible les éclaircies (volume de la coupe et prélèvement à l'hectare suffisants, homogénéité des produits), sera adopté de préférence. Dans les séries de protection, paysagère ou d'accueil du public, dans le cas où des motifs spécifiques le justifieraient, la futaie par parquets de 0,5 à 2 hectares pourrait être préférée (**VENNETIER et al, 1999**).

D'après une étude faite dans les Aurès (**BENTOUATI et al, 2006**), le type de régime qui conviendrait mieux pour ce type de forêt (forêt naturelle structurée par bouquet) est la futaie par parquet. La régénération est pratiquée par coupe rases sur petites surfaces dans les peuplements arrivés à maturité. Ces trouées s'agrandissent au fur et à mesure de l'évolution du semis accompagnée d'une mise en défens de 10 à 20 ans.

Selon ces mêmes auteurs, Le régime de gestion prévoit une évolution des peuplements selon un calendrier des éclaircies adoptée comme suit :

Tableau N°03 : Calendrier des éclaircies proposées pour la pinède de Ouled Yagoub (**BENTOUATI et al, 2006**).

Age (ans)	30	50	70	Entre 70 et 90 ans
Nombre d'arbres/ha après éclaircie	700	380	260	Coupe finale : en moyenne 200 arbres/ha à récolter

L'âge d'exploitabilité est fixé entre 70 et 90 ans en fonction des classes de fertilité. A cet âge les accroissements moyens en hauteur et en volume diminuent et les stations fertiles arrivent à leur maturité.

1- Définition d'un reboisement :

Le reboisement est défini comme une plantation sur un site donné un peuplement forestier répondant du mieux possible aux objectifs du reboiseur qui consiste à produire du bois ou à protéger le sol, la flore, la faune, et ou à créer un cadre pour le loisir et le tourisme.

Les résultats recherchés sont la croissance rapide pour que les arbres remplissent au mieux leur fonction, et se dégagent de la strate basse très vulnérable au feu ainsi la vigueur permanente pour que les arbres résistent mieux et longtemps aux aléas du climat et des ravageurs du feu (ANONYME, 1992).

2- Les buts et les objectifs d'un reboisement :

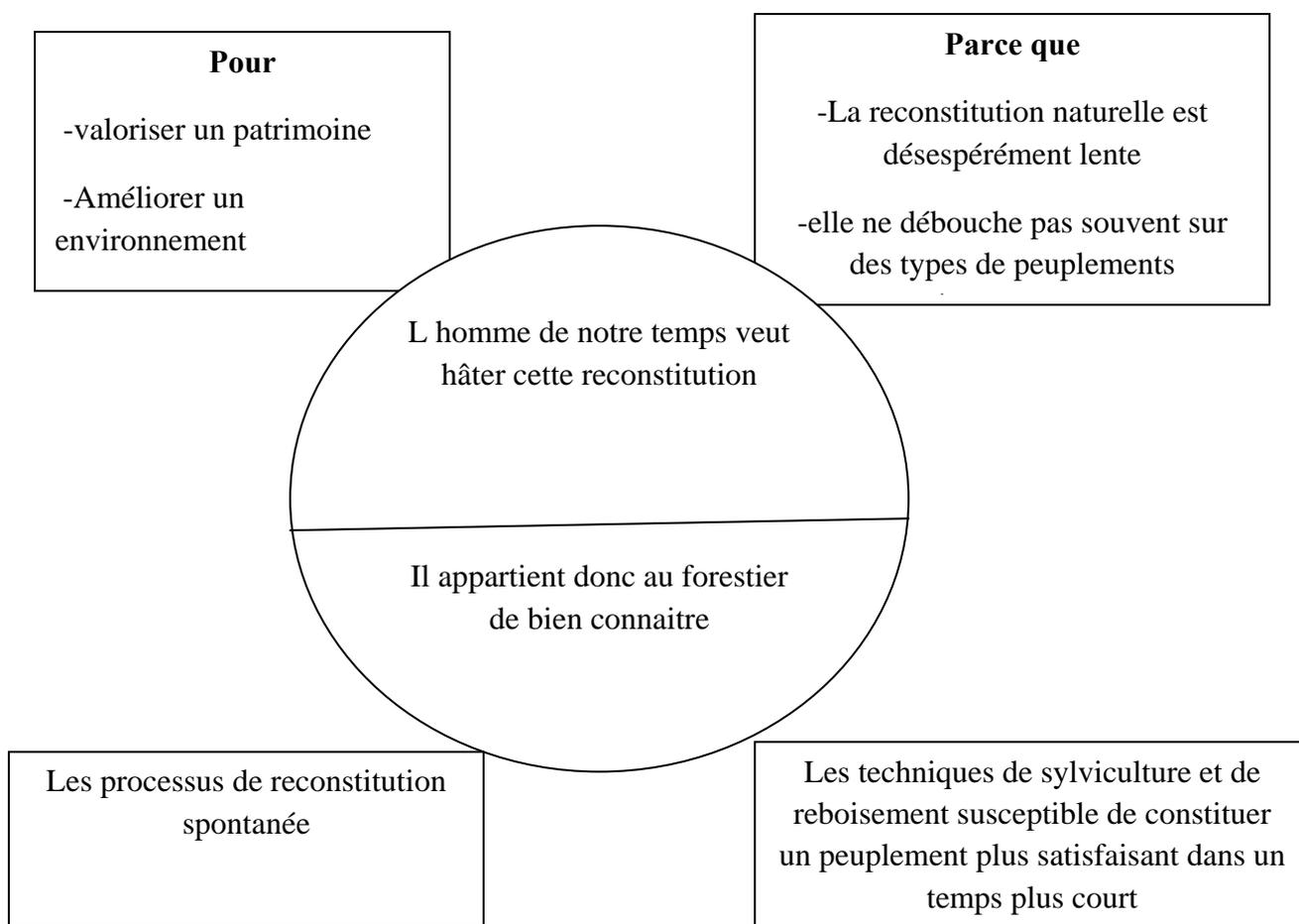


Fig. N°03 : les buts et les objectifs d'un reboisement (ANONYME, 1992)

3- Les objectifs du boisement artificiel :

Le but des boissements artificiels est d'installer sur les terrains dénudés une végétation ligneuse bien adaptée au climat et dont on puisse tirer rapidement une matière possédant des propriétés technologiques utiles.

Si l'on doit s'attacher, en premier lieu, à des considérations directement économiques, il n'en reste pas moins vrai que les aspects écologiques ne peuvent, en aucune façon, être ignorés.

L'aménagement des bassins versants, la protection des sols contre le ravinement, bref toute lutte antiérosive sont aussi parmi les objectifs à assigner à tout programme de reboisement.

Des travaux considérables et très coûteux d'amélioration foncière, comportant d'énormes mouvements de terres (création de terrasses, de banquettes, d'exutoires) ont été exécutés, mais ils n'ont pas toujours eu le résultat escompté. Même si, techniquement on a pu constater ça et là des réussites notables, le plus souvent il n'en a pas été de même pour ce qui concerne l'utilisation la plus rationnelle des deniers publics, eu égard au coût de l'opération.

Il faut aussi que toute technique soit aussi peu coûteuse que possible au départ et suffisamment économique à long terme pour pouvoir permettre des reboisements sur de très grandes étendues (**LETREUCH, 1991**).

4- Les étapes d'un reboisement

Planter des arbres avec succès, exige la réalisation soignée de huit activités sylvicoles (d'où sa complexité) qui, chacune, constitue un maillon de la chaîne (**DANCAUSE, 2004**). Ces maillons sont les suivants:

- la production de semences ou de boutures
- la production de plants
- la planification du projet de plantation
- la préparation du terrain
- le transport des plants et leur entretien sur le site de plantation
- la mise en terre des plants
- le suivi et l'entretien de la plantation (le dégagement)
- les travaux d'éducation de la plantation (éclaircie(s))

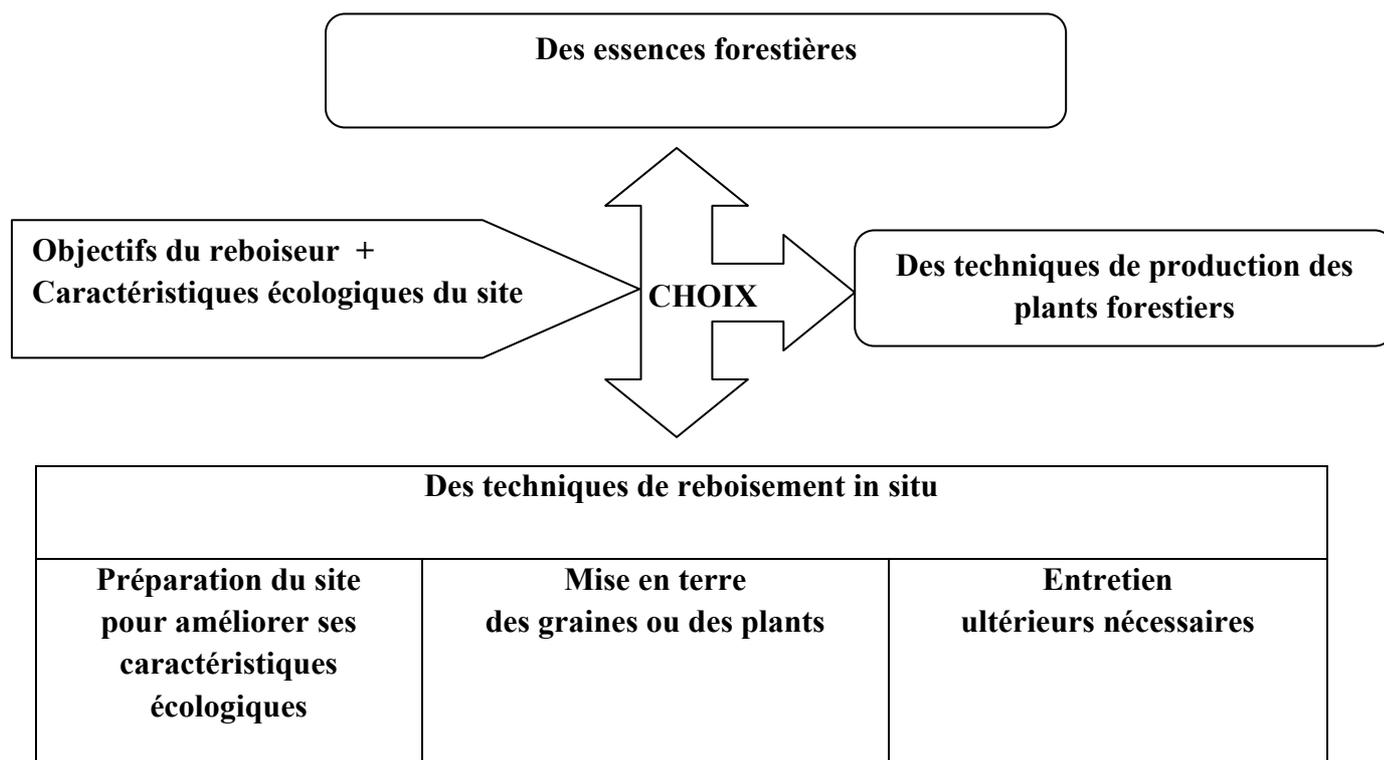


Figure N°04 : Différentes étapes d'un reboisement (ANONYME, 1992)

5- Modalités de reboisement :

Les reboisements sont répartis selon le but dans le quel ils sont destinés, on distingue :

Le reboisement industriel destiné à alimenter en matière première l'industrie de la pâte à papier et vise à une exploitation à courte révolution (10-15-20 ans) d'essence à croissance rapide, telles que l'Eucalyptus et certains pins.

Le reboisement de production dont le rôle de production n'est pas exclusif, on reconnaît aussi à ce reboisement un rôle de protection plus ou moins important selon la circonstance.

Dans notre cas, les reboisements qui nous intéressent plus, sont ceux destinés à la protection des sols contre l'érosion hydrique et éolienne qu'on appelle « *le reboisement de protection* ».

6- Historique du reboisement en Algérie :

En 1962, le rôle économique et social de la forêt algérienne était pratiquement négligé. Par contre, on s'accordait à constater une évolution régressive des formations, évoluant d'abord vers le maquis, pour en arriver à une dégradation apparemment irréversible dans les cas extrêmes.

Alors qu'en 1831, l'Algérie comptait 5 millions d'hectares de forêts, 120 ans plus tard, 25% de cette masse avaient disparu (**LETREUCH, 1991**).

La forêt, milieu volontier en dehors des courants habituels des civilisations, milieu « abandonné à des paysans dits peu exigeant et dépourvus d'un bon sens social », avait subi des détériorations graves, engendrées au premier chef par les impératifs vitaux de base (parcours, cultures divagantes, récolte de bois de feu) dans un système social inadéquat.

La guerre de libération vit s'amplifier de façon considérable les destructions en forêt où se réfugiaient les populations pourchassées. Ainsi donc, à des causes naturelles de dégradation, si l'on se souvient que la forêt algérienne est comprise en gros dans un milieu méditerranéen fragile, se sont ajoutées, au cours du temps des causes anthropiques diverses.

Les unes et les autres se partagent, au fond, la responsabilité du faciès forestier actuel, sans toute fois oublier que la fragilité du milieu peut être essentiellement déterminante et que les causes anthropiques accentuent le caractère décisif du déséquilibre.

En 1916, la superficie totale de la forêt était estimée à 3 millions d'ha. En 1955, on comptait, 3.289.000 ha. Avant l'indépendance, soit avant 1962, elle était de 2.500.000 ha dont 1,8 million dégradé. (**MADOUI, 2003**).

L'Algérie s'est lancée dans une vaste opération de reboisement qui a été marquée par plusieurs étapes:

- la période des **CPR** (chantiers populaires de reboisements) de 1962 à 1967.
- Le plan triennal 1967-1969.
- Le premier plan quadriennal 1970-1973
- Le deuxième plan quadriennal 1974-1977.
- La période 1978-1980
- Le premier plan quinquennal 1980-1984
- Le deuxième plan quinquennal 1985-1989
- Les réalisations des années 1990.
- Le plan national de reboisement (**PNR**) 1996.

Chaque plan a ses propres objectifs, mais qui se résument dans le but de la conservation et la reconstitution des sols. Sans oublier l'immense projet du barrage vert qui est une opération d'aménagement intégré de 3 millions d'hectares des régions steppiques à trois composantes Agro-Sylvo-Pastorale dont le but principal est le rétablissement de l'équilibre naturel de ces régions et la réduction des facteurs favorables à l'avancée du désert (**ANONYME, 1996**).

7- Facteurs susceptibles de menacer la réussite des Plantations

Plusieurs études ont traité quels sont les facteurs responsables de l'échec de reboisement surtout en ce qui concerne le pin d'Alep dans la région méditerranéenne.

DEL CAMPO et al (2007) ont défini que les facteurs liés à la station (climat, météorologie et sol) expliquaient la plus grande part de la variabilité de survie des plants. Le climat méditerranéen est caractérisé par une répartition inégale des précipitations au cours de l'année avec une période de sécheresse estivale plus ou moins importante qui représente la principale contrainte pour la végétation (**DAGET, 1977**). L'évolution de cette contrainte, en relation avec les changements climatiques prévus, peut devenir critique pour la végétation méditerranéenne (**HOFF et RAMBAL, 2000**). Sous climat méditerranéen, c'est essentiellement le bilan hydrique qui gouverne la croissance (**RATHGEBER et al, 2002**).

L'étude effectuée par **MAESTRE et CORTINA en 2004**, indique que les propriétés du sol sont fortement tributaires de la technique de plantations employées. Enfin pour **DANCAUSE (2004)**, la difficulté à mécaniser les opérations de mise en terre et de dégagement est un facteur d'échec pour la réussite de plantation.

En Algérie, les échecs constatés au niveau des reboisements sont surtout liés à la qualité du plant mais aussi au manque d'informations sur la provenance et à l'insuffisance des études sur le site d'introduction. A cela s'ajoute aussi l'absence d'entretien des plants pendant les premières années de son installation. Tous ces facteurs conjugués le plus souvent aux mauvaises conditions climatiques engendrent dans la plupart des cas une mortalité apparente et importante des jeunes semis.

La typologie des stations forestières doit reposer sur l'analyse des trois composantes : végétation, sol, topographie. Afin de fournir aux forestiers les éléments d'interprétation et de compréhension du milieu lui permettant de fixer ses choix sylvicoles.

1- Rappels de quelques notions fondamentales

Pour mieux comprendre les options prises en matière de méthodologie, il est nécessaire de préciser certaines notions dont la connaissance est indispensable.

1-1 La typologie des stations forestières

On entend par typologie la reconnaissance et la description de tous les types de station d'un massif forestier ou d'une région forestière. Elle doit fournir d'une part, les éléments de caractérisation des types de station (caractérisation ponctuelle ou à but cartographique) ; et d'autre part, des informations suffisantes pour l'évaluation des potentialités de production (réserve en eau, niveau de nutrition minérale, contraintes majeures ou secondaires, etc. . . .) de chacun de ces types de station.

BECKER (1985) soulignait que : « les études de station sont par nature même très pluridisciplinaires, et s'appuient largement sur l'écologie générale, l'écologie végétale, la botanique, la phytosociologie, la pédologie, la géomorphologie, la géologie, la climatologie ».

1-2 Station, type de station et sylvofaciès :

Une station est une zone homogène quant aux conditions physiques (climat, topographie, roche mère, sol) et par suite, quant à la dynamique de la végétation. Un type de station regroupe toutes les stations ayant des propriétés physiques et une dynamique de la végétation identique (**Dubourdieu, 1997**).

Lors des études de typologie, la station sera donc caractérisée par un méso climat, un groupement végétal et un type de sol qui lui sont propres.

On nomme *sylvofaciès* « les différentes physionomies prises par un même type de station lorsque la sylviculture éloigne son peuplement du climax » (**DELPECH et al, 1985**).

2- Démarche méthodologique :

Une démarche a été proposée par **TIMBAL (1984)** qui se résume comme suit :

2-1 La pré-étude :

La pré-étude a pour but de faire le point d'une part sur la connaissance acquise du milieu régional (climat, géologie, pédologie, flore...), d'autre part sur les forêts (histoire, modes de gestion actuelle, propriétés, problèmes particuliers, etc. . . .).

Cette pré-étude sera donc au début essentiellement bibliographique ; par la suite, il pourra apparaître nécessaire de compléter ces informations par diverses observations de terrain : précision de la nature des formations superficielles par exemple, ou ébauche de corrélations entre facteurs ou descripteurs du milieu et végétation. Elle permet :

- de préciser les limites exactes de la région ;
- de faire apparaître les divers critères qu'il faudra prendre en compte lors de l'étude de typologie ;
- de préparer le plan d'échantillonnage (mode d'échantillonnage, stratification, disposition, etc.) et la fiche de relevé ;
- d'établir le devis et le programme de travail pour la réalisation du catalogue.

2-2 Le travail de terrain :

Se déroule en plusieurs phases ;

2-2-1 Mode d'échantillonnage :

Il est préférable de choisir un mode de répartition couvrant l'ensemble de la région. Parmi l'ensemble des autres modes d'échantillonnage possibles, l'échantillonnage par transects apparaît comme le plus performant. Il permet à la fois de comprendre le déterminisme du passage d'une station à l'autre et de stratifier l'échantillonnage en tirant parti des connaissances acquises au cours de la pré-étude sur le sens de variation des caractères du milieu.

2-2-2 Le relevé phytoécologique

Chaque relevé devra comporter au minimum et de manière obligatoire les rubriques suivantes :

Une description de la topographie : situation, environnement, pente, exposition, altitude, avec si possible, un schéma permettant de visualiser ces divers facteurs et, par la suite, de relier les stations les unes aux autres.

Un relevé exhaustif de la végétation, par strate, selon la méthode phytosociologique classique avec, pour chaque espèce, notation du coefficient d'abondance-dominance ou de recouvrement. Une description précise du sol sur une petite fosse pédologique de 30 à 40 cm de profondeur complétée par sondage à la tarière. Les principaux caractères qui doivent être obligatoirement notés sont : le type d'humus, l'épaisseur, la texture, la structure et la porosité de chaque horizon, la présence éventuelle de traces d'hydromorphie, de calcaire, de phénomènes de podzolisation, l'enracinement, etc. ...

2-3 Les méthodes d'analyse des données :

Il y en a trois qui sont largement utilisées en phytosociologie et en phyto-écologie et qui ont fait leurs preuves. Il s'agit de l'analyse factorielle des correspondances, de la classification ascendante hiérarchique et de la méthode des profils écologiques. Ces analyses nous mènent à la réalisation d'un tableau floristique à double entrée (relevés × espèces), permet de mettre en évidence les ensembles floristiques homogènes.

A- L'analyse factorielle des correspondances (A F C) :

L'analyse porte sur les espèces végétales par rapport aux relevés. Le plus souvent, l'analyse est effectuée avec les coefficients d'abondance-dominance des espèces. Il apparaît, en effet, qu'un tel traitement donne en général des résultats plus satisfaisants et plus précis, en particulier dans les milieux floristiquement pauvres.

Les facteurs et descripteurs du milieu (caractères édaphiques, topographiques, etc. . . .) seront eux aussi placés en variables supplémentaires. Ces variables ne participent pas au calcul des axes factoriels, mais sont replacées dans le nuage de points et projetées sur les divers plans factoriels. Elles facilitent ainsi l'interprétation écologique de ces axes et permettent de visualiser les corrélations entre groupements floristiques et les variables écologiques.

B- La classification ascendante hiérarchique (C A H) :

Celle-ci peut être effectuée directement sur le fichier de base, soit mieux encore, à partir des résultats de l'AFC. Elle permet de mettre en évidence les rapprochements possibles entre espèces (établissement des groupes sociologiques) puis entre groupes d'espèces et, symétriquement, entre relevés puis entre groupes de relevés.

Il est particulièrement intéressant de reporter ces résultats sur les plans factoriels obtenus ci-dessus et ainsi affiner la classification, en particulier à partir des différences qui peuvent apparaître.

C- Les profils écologiques :

S'ils ne peuvent servir de base à la recherche de la structure de la végétation, ils seront par contre, valablement utilisés pour apporter des précisions sur la valeur indicatrice des groupements établis.

2-4 L'établissement de la typologie:

Les analyses statistiques et le tableau floristique permettent la constitution d'ensembles de relevés floristiquement homogènes. Ce ne sont pas pour autant encore des types de station.

Au sein de ces ensembles de relevés, on est en général amené à faire des subdivisions pour obtenir des sous-ensembles homogènes également quant à leurs caractéristiques écologiques

Mais aucune station n'est parfaitement identique à une autre ; le fait de regrouper certaines d'entre elles au sein d'un même type nécessite de faire abstraction d'un certain niveau d'hétérogénéité que l'on jugera acceptable. Il y a lieu pour cela de respecter certaines règles :

Homogénéité de la position topographique et géomorphologique, car celle-ci conditionne, entre autres, le climat, le drainage naturel, la réserve en eau.

Homogénéité du sol : les différences pouvant existées entre les profils pédologiques des stations d'un même type ne doivent pas avoir un effet sur la potentialité de la station. On retiendra parmi les critères édaphiques de potentialité : la profondeur facilement prospectée par les racines, la réserve en eau (fonction de cette profondeur, de la texture, de la charge en cailloux, de la structure et de la compacité du sol), la fertilité (reflétée en particulier par le type d'humus), les éléments de contraintes comme l'hydromorphie, la présence de calcaire, l'existence d'un niveau induré, etc.

Homogénéité floristique : cette homogénéité ne peut se concevoir qu'à structure et composition du peuplement similaires. On connaît l'appauvrissement de la végétation en milieu très fermé, la banalisation du tapis végétal dans les peuplements monospécifiques et même la modification de ce cortège végétal dans les peuplements artificiels de résineux. La typologie doit d'ailleurs faire apparaître tous les sylvofaciès d'un même type de station.

2-5 La présentation des résultats

On peut préciser trois points importants du catalogue:

2-5-1 La fiche d'identité du type de station

Cette fiche d'identité doit contenir tous les éléments nécessaires d'une part au diagnostic du type de station, d'autre part à l'appréciation de sa valeur forestière.

2-5-2 La clé d'identification des types de station

Un catalogue des stations, aussi précis soit-il, ne pourra être valablement utilisé que s'il comporte une ou plusieurs clés de détermination des types de station sur le terrain.

Ces clés devront être simples, fiables et opérationnelles. Elles seront construites à partir des meilleurs caractères diagnostiques mis en évidence. On y évitera les caractéristiques trop floues, obligeant l'utilisateur à une trop grande part d'interprétation personnelle, qui peuvent devenir source d'erreur.

2-5-3 Le classement hiérarchisé des types de station

Les impératifs d'échelle cartographique, de surface de gestion, etc. . . . nécessitent souvent d'effectuer des regroupements entre certains d'entre eux. Trois modes de classement peuvent être retenus pour ces regroupements :

- Un classement naturel qui correspond aux potentialités climatiques
- Un classement par proximité géographique
- Un classement strictement conçu pour la gestion

2-6 Tests et vulgarisation

Avant la rédaction définitive d'un catalogue, il est indispensable de mettre à l'épreuve la typologie proposée et de tester la pertinence de la (ou des) clé(s).

Pour cela on pourra procéder de deux manières :

- par des diagnostics ponctuels en des points choisis au hasard et, si possible, par une personne n'ayant pas ou peu participé à l'élaboration de la typologie ;
- par une cartographie de portions de forêts non visitées lors de l'échantillonnage et susceptibles de présenter une assez grande diversité de types de station.

Ces tests peuvent amener à modifier les clés proposées pour les rendre plus opérationnelles.

Mais un catalogue ne passera dans la pratique que si ses utilisateurs potentiels sont initiés à son utilisation. Pour cela, le réalisateur du catalogue, en liaison avec les divers services forestiers concernés, devra obligatoirement assurer une information lors de l'élaboration de l'étude puis la mise en place de sessions pratiques de formation.

I- Sites d'étude

I-1 Situation géographique et administrative :

Le site d'étude (**Fig. N°05**) est situé dans une aire qui a fait l'objet de reboisement jugée prioritaire pour la stabilisation du sol et la restauration de la couverture végétale. Les peuplements étudiés font partie d'un territoire qui s'étend sur trois communes (Ain-Touta, Tazoult et Batna).

Les stations des anciens reboisements, objet de notre étude se situent dans les territoires des communes suivantes:

- Ain-Touta pour *Berriche et Garouaou*
- Tazoult pour *Bouadloune et Benboulaid*
- Batna pour *Djebel Bouarif*

Le tableau suivant résume la situation géographique des stations d'étude.

Tableau N°04 : présentation des caractères géographiques pour chaque station d'étude

Stations	Coordonnées Lambert				Surface (ha)	Exposition	A.R (%)	Pente (%)	Altitude (m)
	X ₁ (km)	X ₂ (km)	Y ₁ (km)	Y ₂ (km)					
Djebel Bouarif	258,5	261,3	817	820,4	754	Nord-Ouest	40	10	1267
Berriche	779	784	235	239,2	400	Nord	50	10	1240
Garouaou	787,3	802,8	230,4	237,7	5400	Nord	80	5	1109
Bouadloune	248,1	249,5	821,8	821,5	17	Nord Est	30-40	7	1210
Benboulaid	248,5	249,5	824,5	825,5	40	Sud Ouest	75	13	1200

Remarque : au niveau de la station *Benboulaid*, sur les **40ha** reboisés, seulement **29 ha** ont poussé. **A.R** : Affleurement rocheux.

Localisation :

Station-1 :

Wilaya: Batna

Daïra: Batna

Triage: Bouilef

Contons: Azab

Lieu dit : *Djebel Bouarif*

La nature juridique du terrain est domaniale

Station-2 :

Wilaya : Batna

Daïra : Ain-Touta

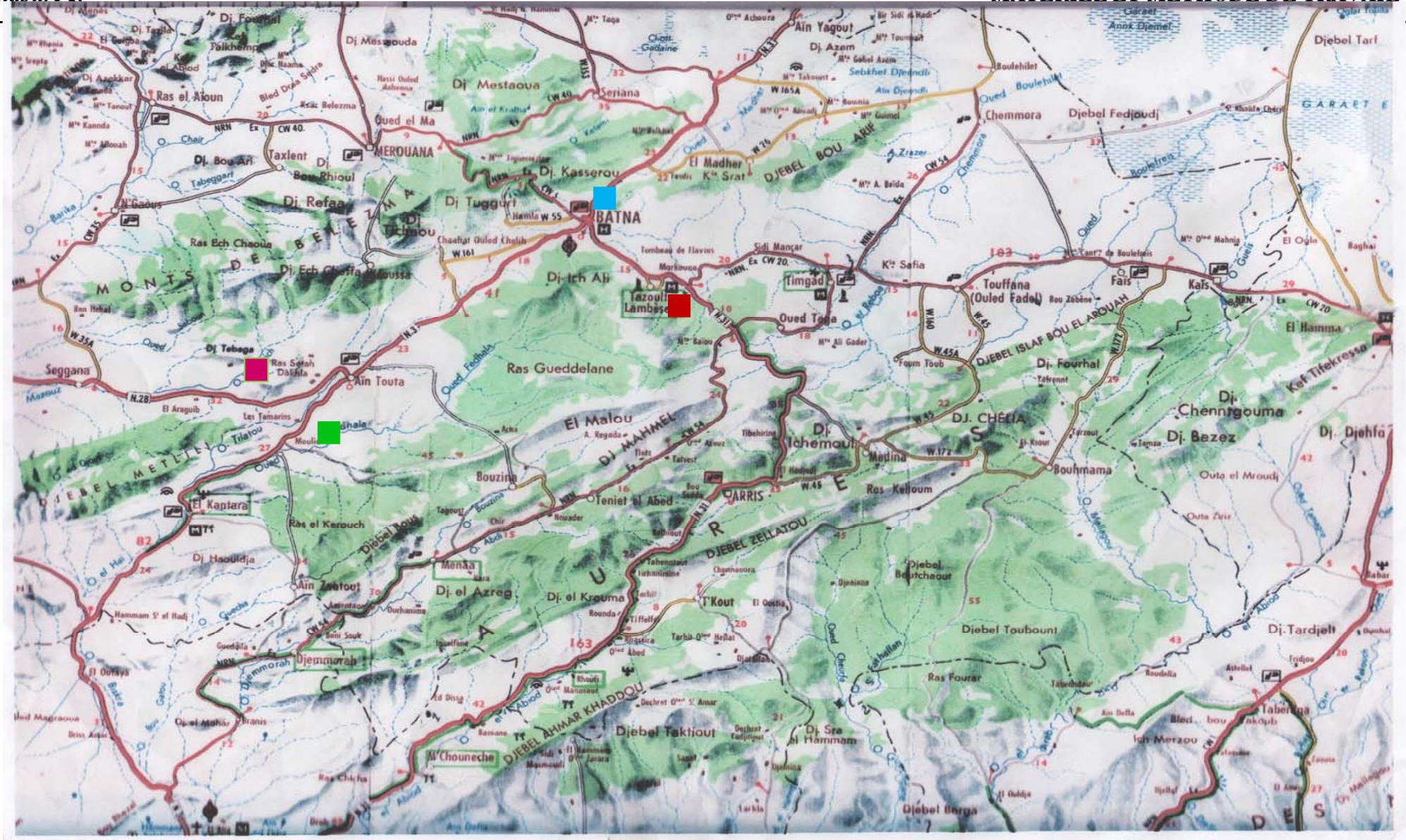


Figure N° 05: localisation des stations d'étude

- Berriche
- Garouaou

- Djebel Bouarif
- Bouadloune et Benboulaid

Commune : Ouled Ouf

Lieu dit : *Berriche*

Nature juridique domaniale

Station-3 :

Wilaya : Batna

Daïra : Ain-Touta

Commune : Beni-Fedhala et Ain-Touta

Lieu dit : *Garouaou*

Nature juridique communale.

Station-4 :

Wilaya : Batna

Daïra : Tazoult

Triage : Tazoult

Contons : Tisfah

Lieu dit : *Bouadloune*

Nature juridique terrain communal.

Station-5 :

Wilaya : Batna

Daïra: Tazoult

Triage: Tazoult

Lieu dit : *Benboulaid*

Nature juridique terrain privé.



Fig. N°06 : Vue dans la station Benboulaid



Fig. N°07 : Vue dans la station Bouadloune



Fig. N°08 : Vue dans la station Garouaou



Fig. N°09 : Vue dans la station Berriche



Fig. N°10 : Vue dans la station Djebel Bouarif

I-2 La géologie et la pédologie :

Le type de roche mère est principalement calcaire au niveau de toutes les stations étudiées. Pour le sol, la texture va de l'argileux à limono-argileux. Pour plus de détails, nous avons procédé à l'étude des profils qui a été complétée par des analyses au laboratoire (voir partie expérimentale).

I-3 Le climat :

Le climat est un élément important qui caractérise une région donnée. L'étude du climat explique non seulement la répartition de la végétation et l'aire de distribution d'une espèce déterminée, mais elle explique aussi son incidence sur la période végétative, la germination et la fructification.

La détermination de l'étendue de la saison sèche ; la quantité et la répartition des précipitations reçues par une zone donnée durant l'année, permettent de voir quelle est l'influence de phénomènes divers (précipitation, répartition, et l'étendue de la saison sèche) sur la végétation (**KADIK, 1987**).

Les facteurs climatiques varient selon l'altitude et l'exposition. En ce qui concerne les précipitations, elles augmentent au fur et à mesure qu'on s'élève en altitude et que les versants nord sont plus pluvieux que les versants sud ; **SELTZER (1946)**, préconise une élévation de 40 mm pour 100 m d'altitude sur les versants exposés en nord, alors que pour les versants sud, **LE HOUEROU in ABDESSEMED (1981)** donne une élévation de 20 mm pour la même altitude (100 m).

En outre, pour une augmentation en altitude de 100 mètres la température diminue de 0,45°C pour les minima et 0,7 °C pour les maxima (**SELTZER, 1946**).

L'absence de données thermométriques propres à la région d'étude nous a amené à prendre en considération les extrapolations précédentes. On présente d'abord le climat général de Batna et par extrapolation on obtient les précipitations annuelles et les températures de chaque station.

I-3-1 La pluviométrie :

Les précipitations sont plus au moins importantes dans cette région. Elles sont réparties entre toutes les saisons sauf l'été où elles diminuent; elles sont caractérisées par la forme torrentielle.

Nous constatons, sur une moyenne de 20 années (1979-2009) que les quantités de précipitations annuelles relevées (**362,7 mm**) se trouvent dans l'intervalle exigé par la grande masse de la répartition du pin d'Alep (**350-700 mm**).

Cependant, les pluies sont mal réparties au long de l'année. En effet, ces dernières sont surtout localisées en automne en printemps.

Ces pluies tombent sous forme de torrent sur un sol généralement sans couverture végétale, ce qui peut provoquer une érosion intense sur les sols instables. L'eau a tendance à

ruisseler à la surface du sol, entraînant avec elle tous les éléments fins. De ce fait, le sol s'appauvrit en éléments nutritifs.

La figure 11 fait également ressortir une saison relativement sèche s'étalant de juin à aout, la plus faible quantité est enregistrée au mois de juillet (8.7 mm), pouvant agir défavorablement sur la croissance du végétal.

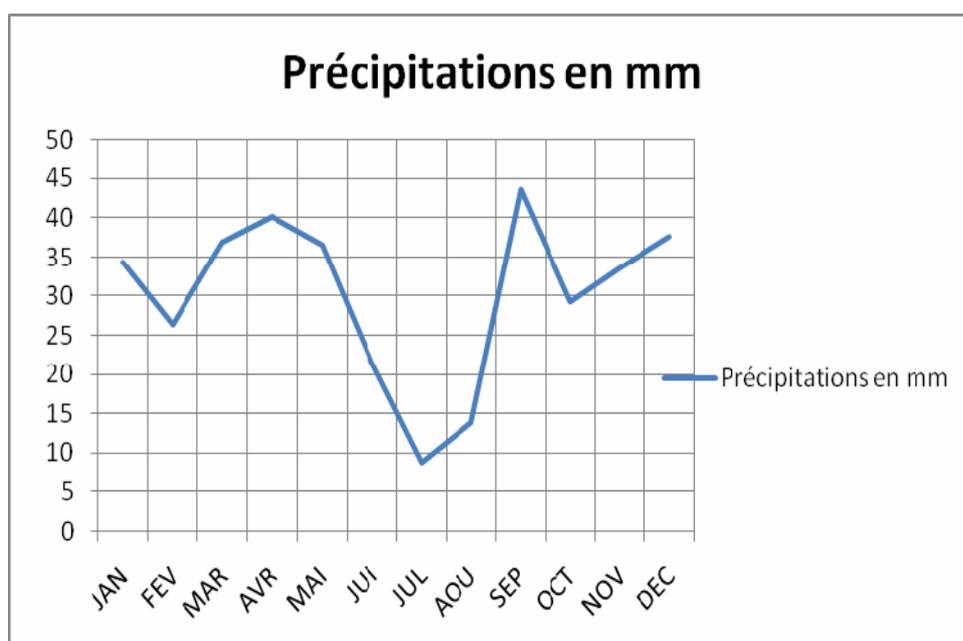


Figure N°11 : Répartition de la pluviométrie moyenne mensuelle en mm (1979 - 2009) d'après la station météo de Batna.

Pour chaque station étudiée, par effet d'altitude et d'exposition on a obtenu les valeurs qui sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau N°05: présentation des valeurs de précipitation des stations d'étude

Station	Altitude (m)	Exposition	Précipitation (mm)
Bouadloune	1210	Nord	517,9
Benboulaid	1200	Sud	438,3
Berriche	1240	Nord	529,9
Garouaou	1109	Nord	477,5
Djebel Bouarif	1267	Nord	540,7

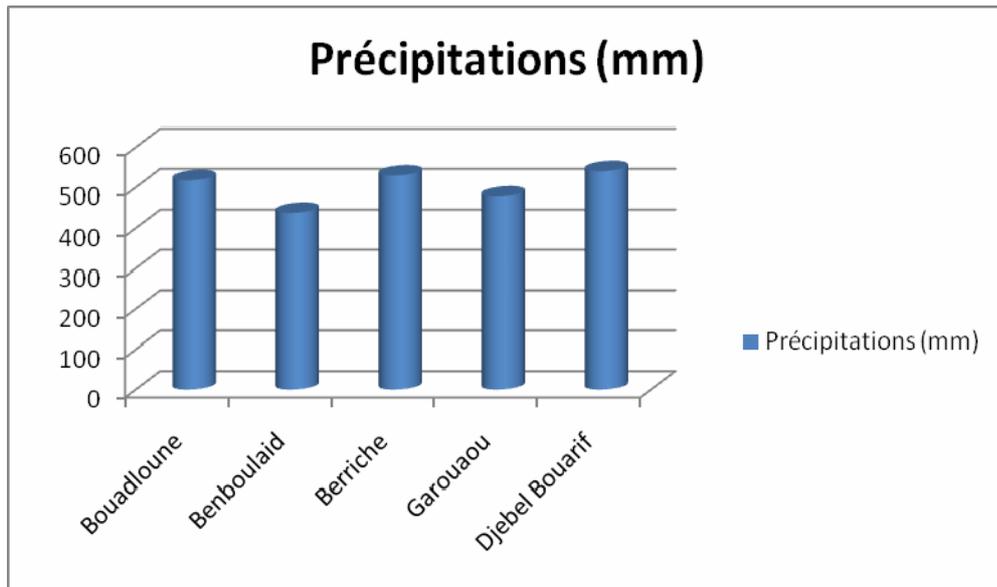


Figure N°12 : Précipitations annuelles en mm pour chaque station étudiée

La station *Djebel Bouarif* enregistre les plus grandes quantités de pluies (**529,9 mm**), et la plus basse est de **438,3 mm** au niveau de la station de *Benboulaïd*.

I-3-2 La température :

La température représente un facteur limitant de toute première importance car elle conditionne la répartition de la totalité des espèces.

Les espèces végétales sont plus sensibles aux températures maximales de la saison chaude et aux températures minimales de la saison froide (M'HIRIT, 1982) (fig. N°13).

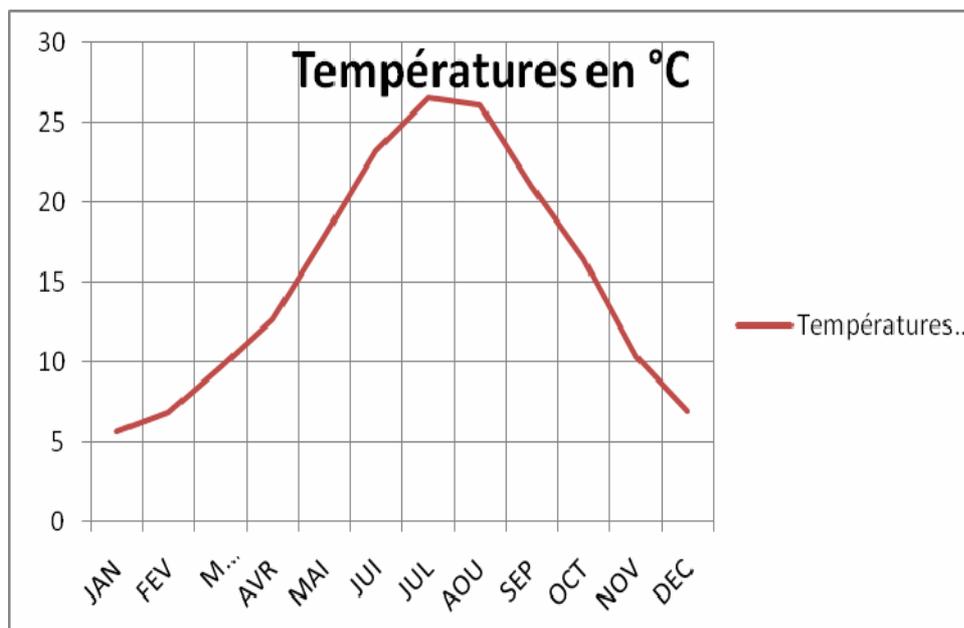


Figure N°13: répartition de la température moyenne mensuelle en degrés (1979 - 2009)
d'après la station météo de Batna.

D'après la figure N°14, on constate que le mois de *juillet* est le plus chaud (34,2 °C) suivi du mois d'*Aout* avec une valeur de 33,4°C. Alors que le mois le plus froid est celui de *Janvier* avec une température de 0,4°C.

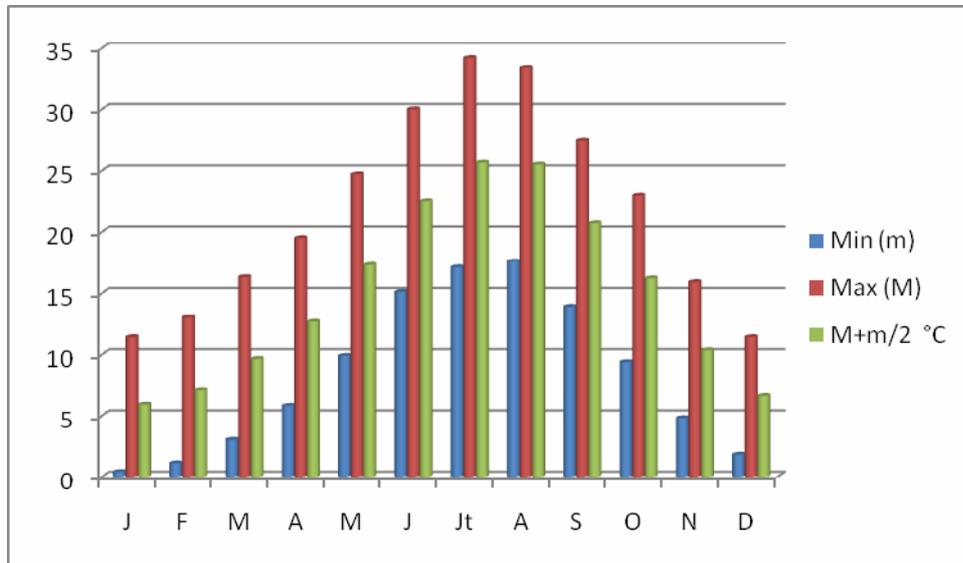


Figure N°14 : Températures minimales et maximales durant la période de 1979 à 2009 (station météo de Batna).

M : moyenne des maxima ; **m** : moyenne des minima ; **M+m/2**: moyenne mensuelle
 Batna se caractérise par une température maximale de 34,2 C° en juillet et un minimum de 0,4° C en *Janvier*.

Le tableau suivant représente les températures minimales et maximales caractérisant les stations d'étude par extrapolation.

Tableau N°06: le minima et le maxima des températures des stations d'étude

Stations	m (°C)	M (°C)
Bouadloune	-1,34	31,49
Benboulaid	-1,3	31,56
Berriche	-1,48	31,28
Garouaou	-0,89	32,1
Djebel Bouarif	-0,2	31,09

La température maximale est enregistrée au niveau de la station Garouaou (32,1°C), tandis que la plus basse se situe au niveau de la station de *Djebel Bouarif* (-0,2°C).

I-3-3 Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN :

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN (**figure N°15**) définit une période sèche s'étalant de la mi mai jusqu'à mi septembre, avec une température maximale (**26,5°C**) au mois du Juillet, et les précipitations sont très faibles (**8,7 mm**); durant cette période l'arbre souffre d'un manque d'eau, pouvant agir défavorablement sur sa croissance. La période humide s'étalant de fin octobre jusqu'à la mi-mai.

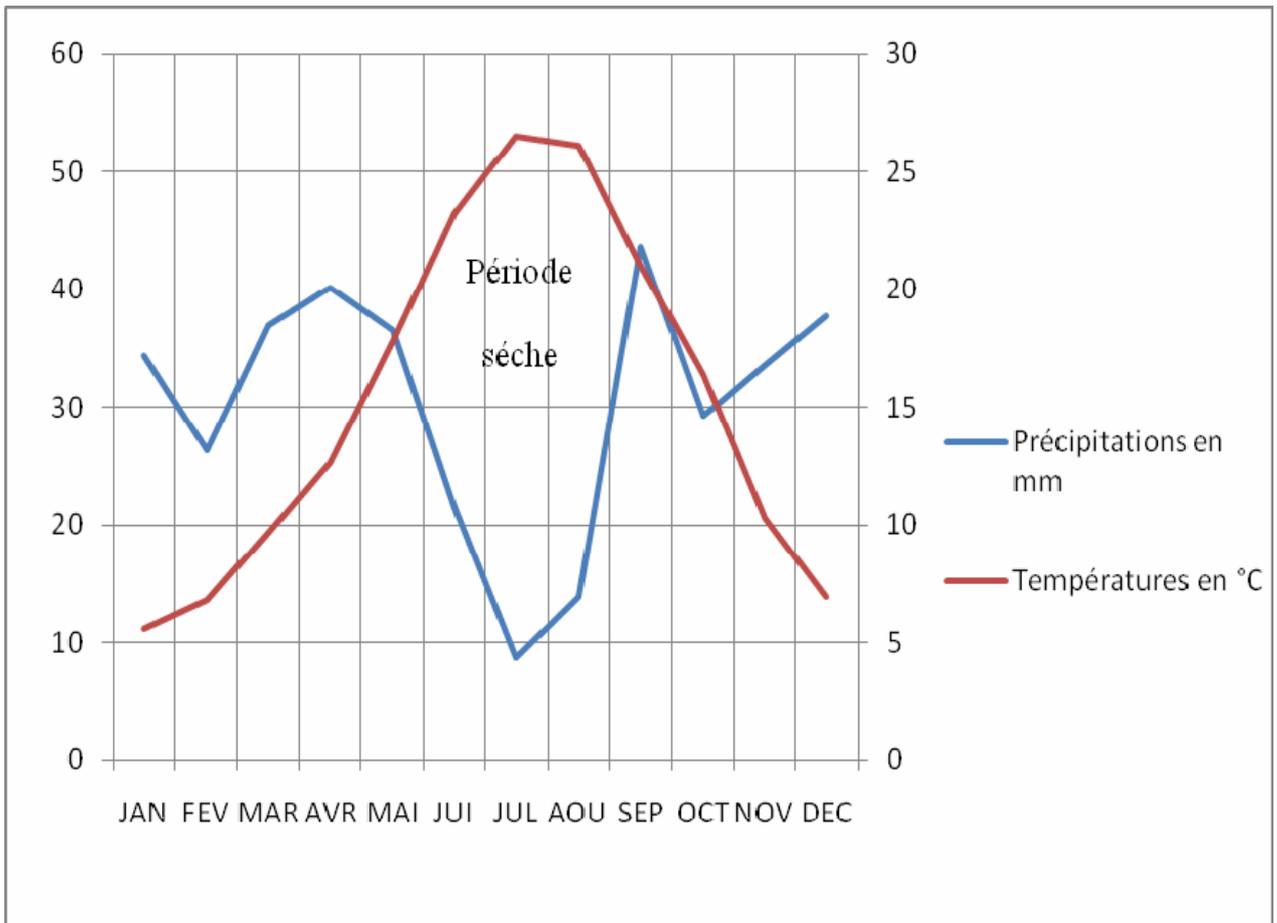


Fig. N°15: Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

I-3-4 les vents :

Le vent et le mouvement des masses d'air peuvent être caractérisés par leur vitesse, leur fréquence, leur direction, leur température et leur humidité. Les caractéristiques influent sur les conditions du milieu et le stade de développement de la végétation.

Les effets du vent sont de deux ordres :

- *Effets mécaniques* : Ils sont liés surtout à la vitesse du vent et peuvent avoir des conséquences importantes sur la végétation. Ex : chute des peuplements, ruptures des branches, etc.

- *Effets thermiques* : l'action du vent se situe dans ce cas au niveau de sa température et de son humidité ; un excès de vent et un air sec favorisent la transpiration. Le vent a donc une influence sur les phénomènes d'évapotranspiration. Il contribue au refroidissement ou au réchauffement de la végétation, et peut ainsi favoriser l'implantation des conditions desséchantes (*SIRROCO*).

Tableau N° 07: Moyenne mensuelle de la force du vent 1989-2008 (station météo de Batna)

Mois	J	F	M	A	M	J	J t	A	S	O	N	D
V (m/s)	2,62	3,06	3,52	3,96	3,66	3,69	3,52	3,42	3,28	2,93	3,12	2,99

La vitesse maximale enregistrée est durant le mois *Avril* de **3,96 m/s** et la vitesse minimale durant le mois *Janvier* avec **2,62m/s**.

I-3-5 La gelée :

C'est la congélation de gouttelettes de brouillard ou de nuages en suspension au contact de la surface froide.

Le nombre de jours de gelée varie de 1 jour le mois d'Avril à 15 jours de mois de Janvier (**tableau N°07**).

Le nombre de jours de gelée continue à exister, même pendant le printemps, ce qui constitue un réel danger pour la végétation.

TABLEAU N°08: Nombre de jours de gelées mensuelles et annuelles de 1989-2008 (station météo de Batna).

Mois	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Total
N ^{bre} de jours	15	11	6	1	0	0	0	0	0	0	3	12	48

I-3-6 La grêle:

Ce sont des précipitations de grêlons ou masses de glace compacte.

Elle contribue fortement à la dégradation du couvert végétal en détruisant les bourgeons terminaux des jeunes plants permettant ainsi l'installation d'agents pathogènes. La grêle provoque également des effets de refroidissement brusque. Dans la région de Batna, elle a lieu au total pendant 5 jours.

TABLEAU N°09 : nombre de jour de grêle moyens par mois et par année 1989-2009 (station météo de Batna).

Mois	J	F	M	A	M	J	Jl	A	S	O	N	D	Total
N ^{bre} de jours	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	5

I-3-7 La neige:

La neige est importante par son rôle d'écran thermique vis-à-vis du sol et des semis. Elle protège les bourgeons et les pousses de l'année contre le froid excessif et la dessiccation. Les chutes de neige débutent généralement au mois de Décembre (2jours) et persiste jusqu'au mois de Février.

TABLEAU N°10: nombre de jour de neige moyen par mois et par année 1989-2009 (station météo de Batna).

Mois	J	F	M	A	M	J	JL	A	S	O	N	D	Totale
N ^{bre} de jours	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5

I-3-8 Climagramme d'Emberger :

Le quotient pluviométrique d'Emberger (Q) permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une région donnée et de la situer dans le Climagramme d'Emberger. C'est un quotient qui est en fonction de la température moyenne maximale (M) du mois le plus chaud, de la moyenne minimale (m) du mois le plus froid, et de la pluviométrie moyenne annuelle (P). Ce quotient est d'autant plus élevé que le climat de la région est humide. Pour déterminer l'étage bioclimatique de la zone d'étude, on applique la formule d'**Emberger (1932)** modifiée par **Stewart** en 1969 :

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

Q : Indice de Stewart ; **P**: Précipitation annuelle en mm (P=362,7mm)

M : Moyenne des températures maximales du mois le plus chaud. (M=34,2C°)

m : Moyenne des températures minimales du mois le plus froid. (m=0,4C°)

Tableau N°11: classification le type de climat selon Indice de Stewart

Valeurs « Q »	Type de climat
Q > 100	Humide
100 > Q > 50	Tempéré
50 > Q > 25	Semi-aride
25 > Q > 10	Aride
10 > Q	Désertique

D'après le calcul, on obtient une valeur de "Q" de 35,95, ce qui indique que notre région d'étude est dans l'étage bioclimatique semi-aride ; caractérisé par un été chaud et un hiver frais (**fig. N°11**).

Le tableau suivant présente l'indice de Stewart pour les différentes stations d'étude :

Tableau N°12: la valeur « Q » selon les stations

Station	m	Q
Bouadloune	-1,34	49,53
Benboulaid	-1,3	41,88
Berriche	-1,48	50,79
Garouaou	-0,89	45,44
Djebel Bouarif	-0,2	54,26

L'analyse du tableau ci-dessus montre que toutes les stations étudiées à savoir *Bouadloune*, *Benboulaid*, *Garouaou*, *Berriche* et *Djebel Bouarif* se localisent dans un climat semi-aride à variante froide. Toutefois, la station *Djebel Bouarif* se caractérisant par un Q = 54,26 se rapproche du climat sub-humide.

Après la projection des stations dans le Climagramme d'Emberger (**fig. N°16**), on remarque que le site d'étude se caractérise par un hiver froid, il appartient à l'étage bioclimatique semi-aride.

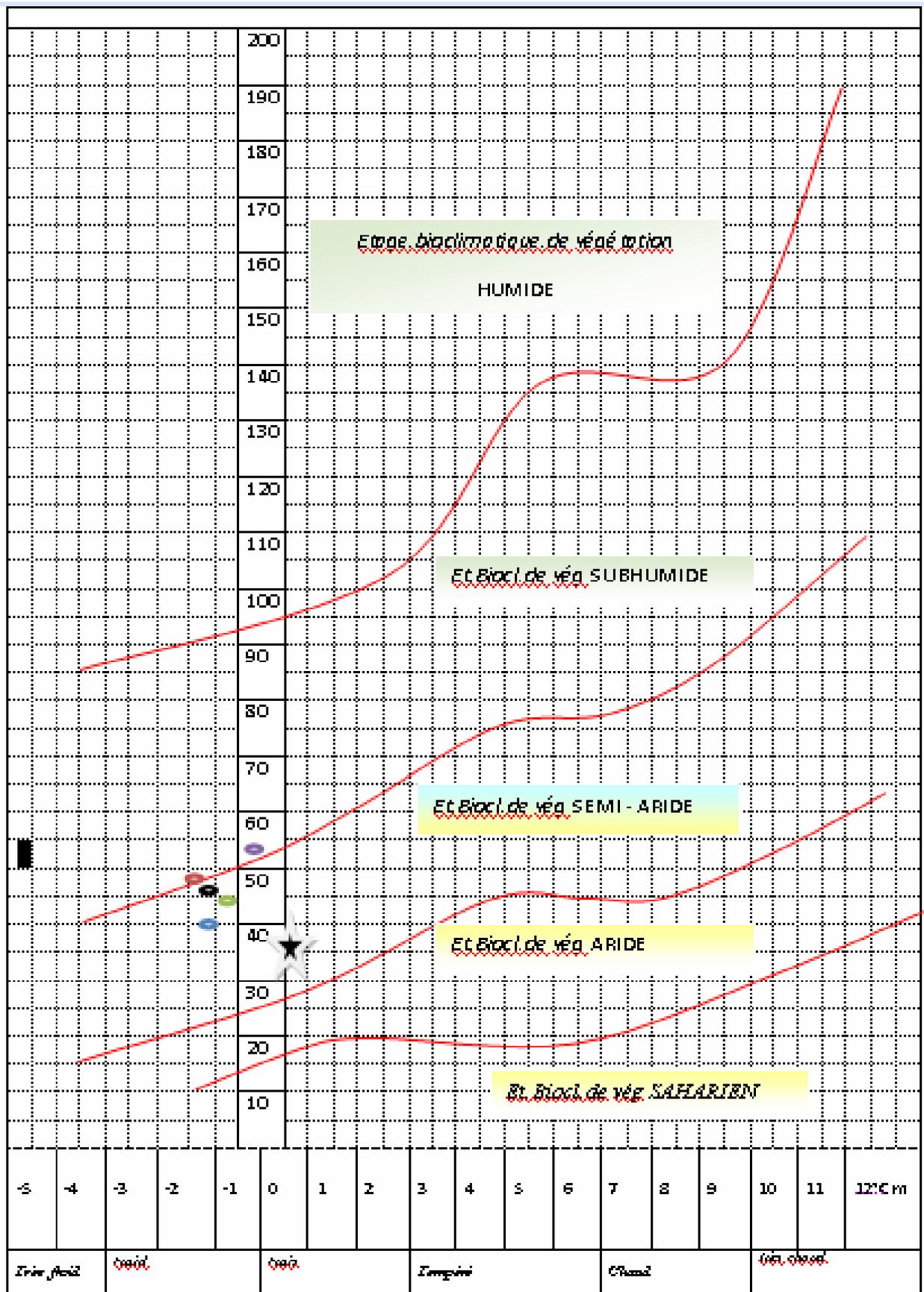


Figure N°16: Projection des stations dans le climagramme d'EMBERGER.

★ : «Batna », ● : Bouadloune, ● : Benboulaid, ● : Berriche, ● : Garouaou, ● : Djebel Bouarif.

I-3-9 Synthèse climatique :

Le manque de données et l'absence de stations météorologiques proches des sites étudiés nous ont mené à prendre comme référence la station de Batna.

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. 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 (**BENTOUATI, 2006**).

Le climat varie selon l'exposition et l'altitude. Nos stations d'étude se situent dans deux étages climatiques (semi-aride, subhumide), caractérisées par un hiver froid.

I-4 Historique des reboisements :

Le reboisement de la station *Djebel Bouarif* est Créé en 1964 avec une densité de 1600 plants à l'hectare. Le but est de lutter contre l'érosion. Aucune intervention d'entretien n'a eu lieu.

Le projet de reboisement de la station *Berriche* est dénommé « **Travaux neufs de reboisement** », il a été réalisé par l'administration des forêts en **1973**. La densité de plantation est **1600 plants/ha**. Les espèces utilisées sont le **Pin d'Alep** et quelques pieds de **Cyprès** dans le but de lutter contre l'érosion.

L'entreprise réalisatrice est l'**O.N.T.F. de Batna**. Les travaux de préparation de sol ont été effectués par ouverture de potêts. L'origine des graines est inconnue et la pépinière d'élevage est **Tamarins**.

L'absence de suivi pour ce reboisement (absence de travaux sylvicoles, d'entretien).

Etat sanitaire du peuplement :

- Type de maladie : la chenille processionnaire de pin
- Accident climatique : la sécheresse

Le reboisement de *Garouaou* a été lancé en **1978** par l'administration des forêts sous la dénomination « **Travaux neufs de reboisement** ». La superficie réalisée est de 5400 ha, a été réalisé par l'**O.N.T.F. Batna** avec une densité de 1600 plants à l'hectare dont le but est la lutte contre l'érosion. Les travaux de préparation de sol sont par ouverture de potêts.

L'espèce principale qui a été utilisée est le Pin d'Alep. L'origine des graines est inconnue et les pépinières d'élevage sont : Kais, Tamarins, Fourchi, et Arris.

Les travaux sylvicoles qui ont été réalisés sont l'élagage et l'échenillage. Le peuplement est attaqué par la chenille processionnaire de pin et la sécheresse.

Sur terrain on a remarqué qu'il y a une bonne régénération du peuplement.

Le reboisement de la station *Bouadloune* a été créé en 1966 dans le but de protéger le sol contre l'érosion.

La densité de plantation est de 1200 plants à l'hectare. L'espèce qui a été utilisée est le Pin d'Alep. La plantation est de type inter-banquette.

Les interventions pratiquées sont l'ouverture de banquettes et des travaux phytosanitaires contre la chenille processionnaire de pin (2008).

L'élagage est naturel.

En 1986, le reboisement de *Benboulaid* a été réalisé, avec une densité de **1600** plants à l'hectare et l'espèce qui a été utilisée est le Pin d'Alep avec la présence d'une strate herbacée. Le but est la protection contre l'érosion. La plantation est par routage.

Les interventions consistent en des travaux phytosanitaires contre la chenille processionnaire de pin (2008). Pas d'élagage.

II- Méthodes de travail :

Pour mieux cerner les problèmes liés aux échecs du reboisement du pin d'Alep, notre étude a porté sur plusieurs stations. Les paramètres pris en considération sur le choix des stations sont l'exposition, l'âge et la structure générale des peuplements ; ceci nous permettra de mieux comprendre l'effet des facteurs du milieu (climat et sol) sur la croissance du pin d'Alep. Pour cela, on a opté sur cinq stations ont fait l'objet d'une étude typologique d'un reboisement dont deux situées au niveau de Tazoult (*Bouadloune, Benboulaid*), deux autres au niveau de Ain-Touta (*Berriche, Garouaou*) et enfin, une dernière au niveau Bouilef (*Djebel Bouarif*).

Des placettes temporaires sont placées dont le but est de couvrir le maximum de diversité du milieu. Plusieurs placettes sont implantées en fonction de la variation d'un ou plusieurs critères du milieu (pente, altitude, exposition).

On a retenu 10 placettes à *Djebel Bouarif*, 6 à *Benboulaid*, 4 à *Bouadloune*, 6 à *Berriche* et 5 à *Garouaou*.

Les placettes sont de forme circulaire avec une surface de 5 ares.

II-1 Collecte des données :

Au niveau de chaque placette deux types de variables sont collectées :

II-1-1 les variables topographiques : sont les plus déterminants et peuvent avoir une influence sur la croissance du pin d'Alep, il s'agit de l'altitude, l'Exposition, la pente et l'affleurement rocheux (estimé à l'œil nu).

II-1-2 Les variables dendrométriques : pour chaque placette on a mesuré :

- Les diamètres à 1,30m pour tous les arbres de la placette;
- La hauteur dominante (h_d) pour les cinq plus gros arbres de la placette;
- Les distances entre les arbres;
- L'arbre de surface terrière *moyenne* par la formule suivante:

$$dg = \sqrt{\sum_{i=1}^n di^2/n}$$

dg : diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne ; **di :** diamètre de tous les arbres de la placette à 1,30 m ; **n :** nombre d'arbres de la placette.

Après avoir déterminé l'arbre de surface terrière moyenne, plusieurs mesures sont réalisées sur cet arbre :

- Le diamètre à 0,30m;
- Le diamètre à différents niveaux de l'arbre;
- La hauteur du houppier;
- Le diamètre du houppier par la projection du houppier et mesurer les distances qui correspondent aux rayons avec la formule :

$$dh = 2 \sqrt{\sum_{i=1}^n ri^2/n}$$

dh : diamètre du houppier;

ri: rayon du houppier.

- Estimer le pourcentage des cônes à l'œil nu.

Au niveau de chaque station, un seul arbre dominant a fait l'objet d'une analyse de tige. Le choix s'effectue selon le critère de dominance et catégories de diamètres. Les arbres choisis sont sains et ne présentent pas de gros défauts (grosse fourche, arbre très mal conformé, arbre dépérissant, etc....). La découpe est faite selon le principe suivant :

Une à 0,30m, puis à chaque mètre une rondelle est prélevée (fiche en annexe).

Toutes les mesures prises sur terrain sont reportées sur une fiche Annexe (I.1).

Une analyse de sol est aussi effectuée à partir d'un profil par station. Les caractéristiques physico-chimiques sont étudiés parallèlement à une analyse granulométrique classique

II-2 Calculs effectués :

II-2-1 Le nombre d'arbres à l'hectare (N/ha)

Représente la densité d'un peuplement à l'ha. Elle est calculée par la formule :

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

N: nombre d'arbres par placette ; S: surface de la placette à l'hectare.

II-2-2 Diamètre moyen :

$$dm = \frac{\sum_{i=1}^n di}{n}$$

di: diamètre de l'arbre à 1,30 m du sol ; N: nombre d'arbres par placette

II-2-3 La surface terrière à l'hectare:

$$G/ha = \frac{100}{4\pi s} \times \sum_{i=1}^n Ci^2$$

Ci: circonférence de l'arbre à 1,30 m du sol ; s: surface de la placette en are.

II-2-4 Le facteur de compétition des houppiers (CCF):

Selon RONDEUX (1993), le CCF est une mesure de densité axée sur la concurrence des houppiers. La surface occupée par un arbre en croissance libre est proportionnelle à la projection au sol de son houppier et qu'il existe une relation étroite ; quelque soit l'âge et la station, entre le diamètre du houppier (d_{ho} , en m) et le diamètre à 1,30 m (d , en m). Cette relation est de type :

$$d_{ho} = (a_0 + a_1 d)^2$$

et calculer la surface (supposée circulaire) maximale de houppier (MCA : maximum crown area), en m^2 qui correspond à :

$$MCA = \frac{[\pi(a_0 + a_1 d)^2]}{4}$$

Pour un ensemble des N arbres constituant le peuplement occupant une surface totale S (en m^2), le CCF correspond à :

$$CCF = \frac{1}{S} [\sum_{i=1}^N MCA_i] 100$$

II-2-5 Le profil des arbres :

A été exprimé par une équation de défilement après avoir réalisé des mesures à différents niveaux de la tige ; le diamètre est mesuré tous les 1m tout au long de la tige.

L'équation de défilement a été établie à partir du modèle *de Riniker* (**Tarp-Johansen et al. 1997 in HOUEDOUGBE FONTON et al. 2002**). Elle s'écrit sous la forme :

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

Avec:

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

h : hauteur totale de l'arbre ;

r et p : constantes strictement positives (r est l'exposant de forme et p est lié au défilement ou décroissance métrique de l'arbre exprimé).

II-2-6 Analyses de tiges :

a- Reconstitution de la croissance en hauteur d'un arbre :

L'âge actuel de l'arbre est connu, on considère que l'arbre a atteint la hauteur de chaque découpe observée à un âge égal à la différence : **Age actuel – Nombre de cernes de la découpe**. On dispose ainsi pour chaque arbre, d'un ensemble de doublets (âge, hauteur). La ligne brisée qui joint ces points sur un graphique est censée reconstituer l'histoire de la croissance en hauteur de l'arbre et de l'extrapoler dans le futur pour une période de temps limitée.

b- Reconstitution de la croissance en diamètre d'un arbre :

De même que pour la hauteur dominante, nous avons aussi déterminé l'accroissement en diamètre sur une rondelle au niveau 0,30 m de la hauteur de l'arbre.

c- Modélisation de la croissance :

La croissance en hauteur d'un arbre se présente généralement sous la forme d'une courbe sigmoïde plus ou moins tendue, que l'on cherche à rapprocher à l'aide d'un modèle mathématique. C'est une évolution de la hauteur en fonction de l'âge présentée par les **courbes de croissance** ou **modèles de croissance**.

La relation hauteur dominante – âge est une relation non linéaire, ce qui nous permettra de distinguer deux familles de modèles : les modèles linéaires par rapport aux paramètres et les modèles non linéaires intrinsèques. La figue N°12 donne une classification simplifiée des modèles de croissance en hauteur.

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

$$H_{dom} = k_1 [1 - \exp(-k_2 \times \text{age})]^{k_3}$$

k_1 : paramètre libre qui dépend de l'arbre. Il représente la hauteur de l'arbre atteinte à un âge
 \exp : 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, 1997; MONTERO, 2000 in BETOUATI, 2006 ; RATHGEBER et al, 2002**) et aussi sur le pin gris au Canada (**WILLARD, 1988 in BENTOUATI, 2006**).

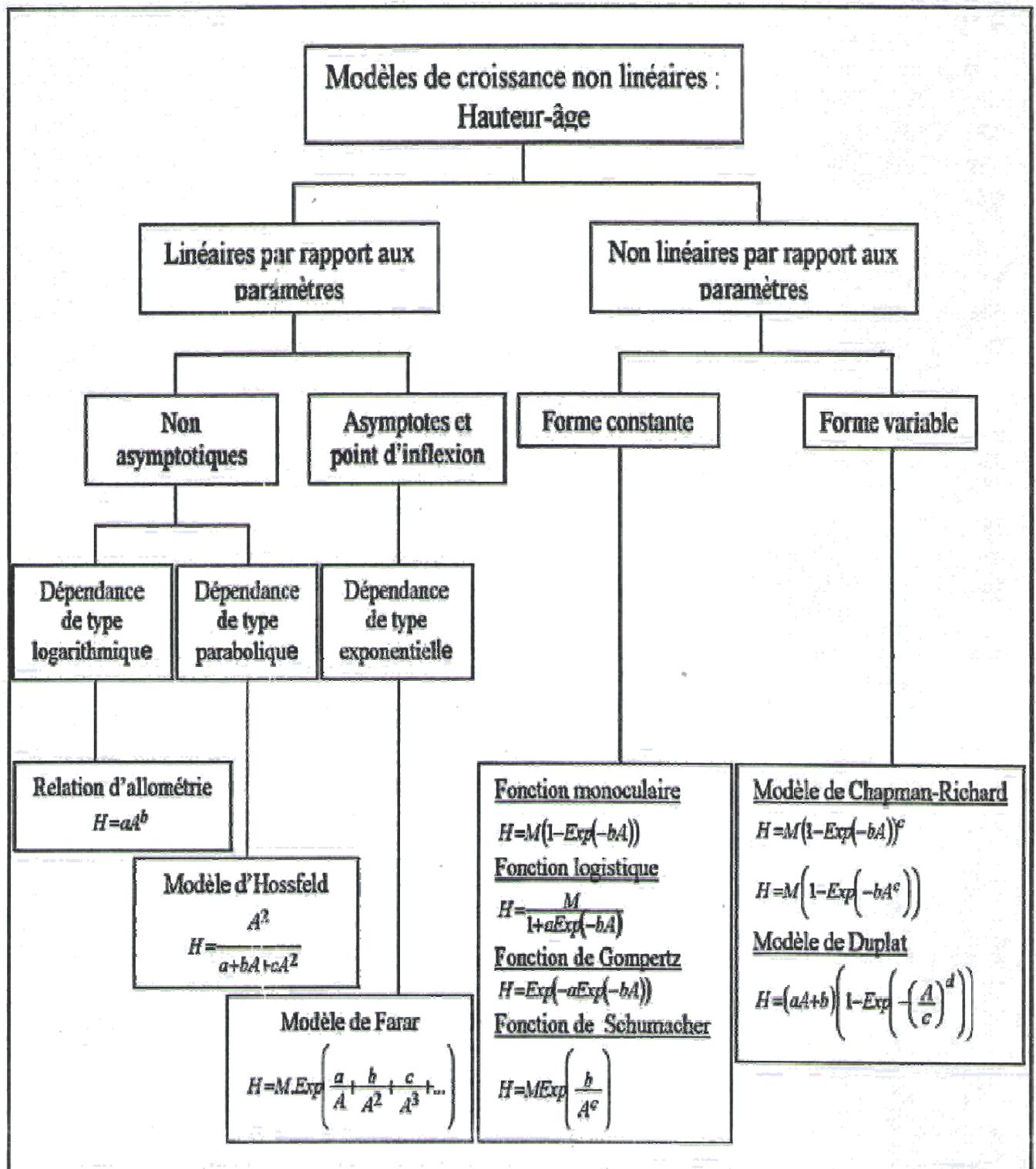


Fig. N°17: Modèle de croissance hauteur – âge (M’HIRIT, 1982).

II-3 les relevées pédologiques :

Dans chaque station nous avons effectué une étude de profil qui a pour but de :

- ❖ Mettre en évidence les caractéristiques des diverses couches constituant le sol ;
- ❖ Examiner la façon dont elles sont exploitées par les racines ;
- ❖ Evaluer les causes de leur différenciation afin de pouvoir :
 - Apprécier les qualités ou défauts d'un sol d'une station ;
 - Expliquer les accidents de végétation
- ❖ Prélèvement d'échantillons de sol afin de faire quelques analyses au laboratoire.

Pour cela, nous avons creusé des fosses pédologiques dont les dimensions sont : longueur 1m50, largeur 0,8m et profondeur jusqu'à la roche mère.

Après avoir réalisé le profil pédologique, nous avons prélevé des échantillons de sol à différents horizons, puis on procède aux analyses au niveau de laboratoire.



Figure N°18: Description d'un profil

Les échantillons de sols ont été séchés à l'air libre et tamisé à 2 mm "terre fine" avant d'effectuer les analyses suivantes

II-3-1 les analyses chimiques du sol :

a- Le pH:

Nous l'avons déterminé par la méthode électrométrique sur suspension de terre.

La mesure du pH est réalisée à l'aide d'un pH mètre (pH- mètre digital. WTW53), et le rapport sol / eau est de 1 / 2,5.

b- La conductivité électrique (CE):

La conductivité électrique a été calculée à l'aide d'un conductimètre électrique (l'appareil utilisé est le conductimètre type TD6N) et selon un rapport sol / eau = 1/5, elle est exprimée en mmhos / cm ou ds / m.

c- Le calcaire total (calcimètre de BERNARD)

La méthode utilisée est la méthode gazométrique, elle consiste à décomposer le carbonate de calcium par l'acide chlorhydrique (6N) et à mesurer le volume de gaz carbonique (CO₂) dégagé.

d- Le calcaire actif

on pratique une réaction modérée qui n'intéresse que les particules calcaires les plus fines. On utilise la propriété du calcium de se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble.

e- Dosage du carbone organique: (méthode d'ANNE):

Le dosage du carbone organique des sols a été réalisé selon la méthode (ANNE 1954).

f- La matière organique:

Le taux de la matière organique est réduit en multipliant le taux de carbone organique par 1,72.

$$\text{MO \%} = \text{C \%} \times 1,72$$

g- Dosage de l'azote total : (méthode de KJELDAHL)

L'azote organique (protéines, acides aminés,...) est transformé en azote ammoniacal sous l'effet de l'acide sulfurique (H₂SO₄) concentré et chauffé.

h- Dosage du sodium, potassium (Na⁺, K⁺):

❖ Préparation de la solution étalon de Na⁺ :

$$1 \text{ p.p.m} = 1 \text{ mg/l} = 1 \mu\text{g/ml}$$

$$1 \text{ mole (NaCl)} \longrightarrow 1 \text{ mole Na}^+$$

$$58 \text{ g/l} \longrightarrow 23 \text{ g/l} \quad X = 2,5 \text{ g/l}$$

$$X \longrightarrow 1 \text{ g/l}$$

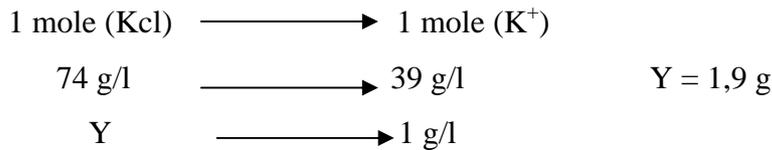
Il nous faut 2,5g/l de Na cl, pour préparer une solution fille de 100 ppm:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$$

$$100 \text{ ppm} \times 500 \text{ ml} = 1000 \times V_2 \longrightarrow V_2 = 50 \text{ ml}$$

On prélève 50 ml de solution 1000 ppm dans un flacon de 500 ml et on complète le volume 500ml avec l'eau distillée.

❖ Préparation de la solution étalon de K⁺:



On prélève 1,9 g de KCl dans un litre d'eau distillée pour préparer une solution de 1000 ppm pour K^+ , et ensuite on prépare la solution fille par: $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$

Mesurer avec le photomètre à flamme: l'appareil doit être mis en marche pendant 10 – 15 minutes avant le dosage pour qu'il se stabilise. On règle l'appareil de manière à obtenir une lecture pour Na^+ 0 pour 0 ppm. 50 pour 100 ppm, puisque la dose des solutions à tester et on estime la dilution à faire. L'évaluation des résultats se fait par méthode informatique (Excel).

i- CEC :

Le principe consiste à analyser les bases échangeables déplacées par l'acétate d'ammonium à mesurer la CEC. La capacité totale d'échange dépend du taux d'argile et du taux d'humus du sol.

II-3-2 Les analyses physiques:

a- La granulométrie:

Le principe utilisé est la méthode internationale de la pipette de Robinson. Elle nous renseigne sur les différentes fractions (argiles, limons et sables) afin de pouvoir déterminer la texture des sols.

b- La densité apparente:

Par la méthode du cylindre, la densité apparente est donnée par la formule:

$$D_a = \frac{M_s}{V_t}$$

Da: densité apparente (g/cm^3) ; **Ms:** poids du sol déterminé après séchage à $105C^\circ$

Vt: volume total du sol (100 cm³).

c- La capacité de rétention:

La capacité de rétention en eau est la quantité d'eau qu'un sol peut retenir après écoulement de l'eau de gravité. Elle est déterminée par la formule suivante:

$$CR\% = \frac{X - Y}{Y} \times 100$$

X: le poids du sol après écoulement d'eau de gravité ; **Y:** poids du sol sec.

CR: la capacité de rétention.

d- L'humidité du sol: est déterminée par la formule suivante :

$$\%d'humidité = \frac{X - Y}{Y} \times 100$$

X : poids de sol humide ; **Y**: poids de sol sec

e- la porosité

Sans tasser le sol à mesurer, on y enfonce un cylindre de volume connu (v en cm^3). On ferme la base du cylindre en y glissant une lame métallique. On pèse l'échantillon après séchage à l'étuve (105^0c). On calcule la densité apparente D' qui est égale au poids / volume. La densité réelle est à peu près égale à 2,6 lorsque le sol n'est pas très riche en matière organique. On détermine la porosité totale.

$$\text{La porosité totale} = \frac{\text{densité réelle} - \text{densité apparente}}{\text{Densité réelle}} \times 100$$

La macroporosité % = porosité totale – microporosité.

f- la stabilité structurale

Dans un cylindre dont le fond est troué, on place un poids de sol séché et tamisé délicatement au tamis de 02 mm. Ce sol est soumis à une imbibition puis tamisage à l'eau (tamis de 0,2mm). Les agrégats stables et les sables grossiers sont retenus, par contre, les agrégats détruits traversent le tamis. On calcule l'indice de stabilité par la formule:

$$I_s = \frac{F}{A}$$

F: argile+limon dans la fraction fine en % ; **A**: agrégats en% - 0,9 sable grossier.

0,9 sable grossier signifie que l'on considère que 90% des sables grossiers de la fraction A n'entre pas dans la constitution d'agrégat stable.

$I_s < 1$ on considère que le sol a une bonne structure.

I- Effet de la densité sur la croissance du peuplement :

La notion de densité est étroitement liée à divers concepts sylvicoles tels que la concurrence entre individus et le degré de couvert d'un peuplement. Il faut faire la distinction entre la densité au sens d'une mesure quantitative absolue du degré d'occupation d'une surface par les arbres (occupation traduite en principe par le volume ou le nombre de bois à l'hectare, par exemple) et la densité relative exprimée en pourcentage d'une valeur moyenne ou optimale à mettre en relation avec un objectif à atteindre dans la gestion d'un peuplement (GINGRICH, 1967 in RONDEUX, 1993).

En terme sylvicole, la densité en général est définie par le nombre de bois, la surface terrière et le volume à l'hectare (RONDEUX, 1993).

I-1 Structure des peuplements étudiés :

I-1-1 structure globale :

La structure d'un peuplement, comme l'a définie RONDEUX (1993), est le regroupement de toutes les tiges recensables par catégorie de grosseur ; on définit une distribution de fréquence.

Globalement, la structure définie est irrégulière malgré que notre peuplement soit issu d'une plantation. (Fig. N°19).

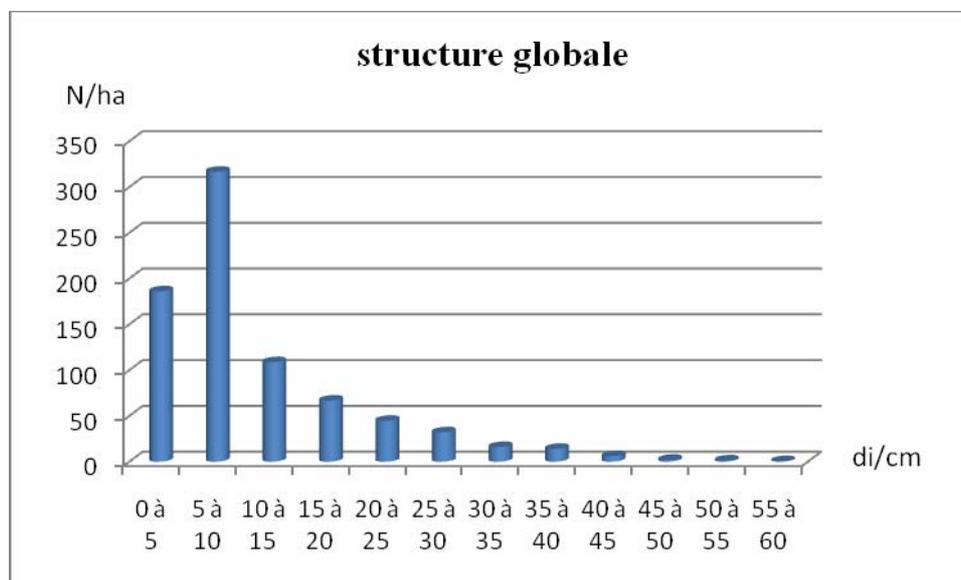


Fig. N°19 : Présentation de la Structure globale des stations d'étude.

En effet, dans la plus part des placettes échantillonnées, les différentes classes de diamètre (0 à 5 et 55 à 60 cm) sont visibles. Les diamètres les plus représentés sont ceux de la classe (0-5) et (5-10) cm. Par contre, les gros diamètres sont très peu représentés

I-1-2 –structure zonale :

Dans cette panoplie de structures, il apparait clairement une distinction entre les différentes stations. En effet la station de *Djebel Bouarif* apparait la plus équilibrées avec une grande diversité des classes de diamètres relativement à celle de *Garouaou* qui présente une faible amplitude au niveau des diamètres. En revanche cette dernière station se caractérise par une forte densité par rapport aux autres stations ce qui a probablement engendrée une concurrence vitale entre les arbres et par conséquent une croissance très faible des diamètres ne dépassant la 10 cm. les stations de *Ben-boulaïd* et de *Berriche* sont pratiquement identiques qui se caractérisent par une densité d'arbre variant entre 500 à 600 tiges par hectares pour la classe de diamètre entre 5 et 10 cm. La station de *Bouadloune* montre une certaine régularité au niveau de la dispersion des diamètres. Le nombre d'arbres dans cette station est relativement moyen par rapport aux précédentes.

La structure de la station *Djebel Bouarif* (**Fig. N°20**), comprend toutes les classes de diamètre de (0-5 ... 55-60). On note une densité relativement élevée (76 et 78 arbres/ha) pour les classes (20-25) et (25-30); elle est moyenne (24-48-44-38 arbres/ha) pour les classes (10-15), (15-20), (30-35) et (35-40) et faible pour les plus petits et plus gros diamètres (4-4-4-2 arbres/ha). Pour la station *Berriche*, la classe (5-10) est la plus représentée (488 arbres/ha), alors que les gros diamètres sont très peu représentés (**fig. 21**).

la structure de la station *Bouadloune* (**fig. N°22**) présente peu de classes. Elle est forte pour les classes (10-15) et (15-20), faible pour les petits et gros diamètres.

Au niveau de la station *Benboulaïd* (**fig. N°23**), 4 classes sont présentes de 0-5 à 20-25. la densité la plus élevée est située dans la classe (5-10) de 553 plants/ha suivie de la classe (0-5) avec 383 plants/ha, les autres classes sont très peu indiquées.

En ce qui concerne la station de *Garouaou* (**fig. N°24**), on constate que deux classes seulement sont représentées (0-5) et (5-10). Toute fois, il est utile de signaler que la classe (5-10) est relativement plus élevée que la classe (0-5).

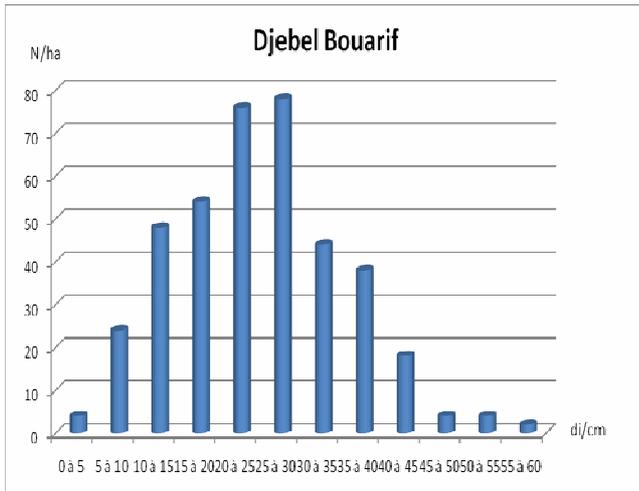


Fig. N°20 : Structure de la station « Djebel Bouarif »

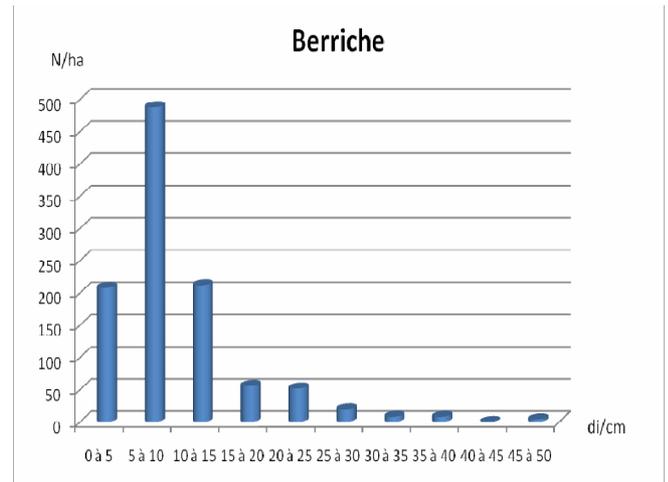


Fig. N°21 : Structure de la station Berriche

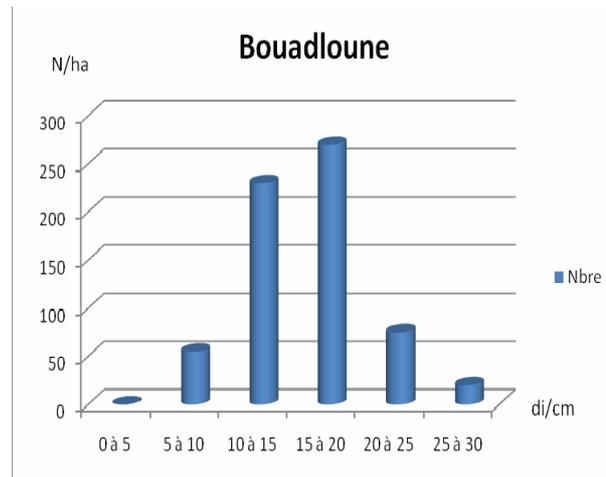


Fig. N°22 : Structure de la station Bouadloune

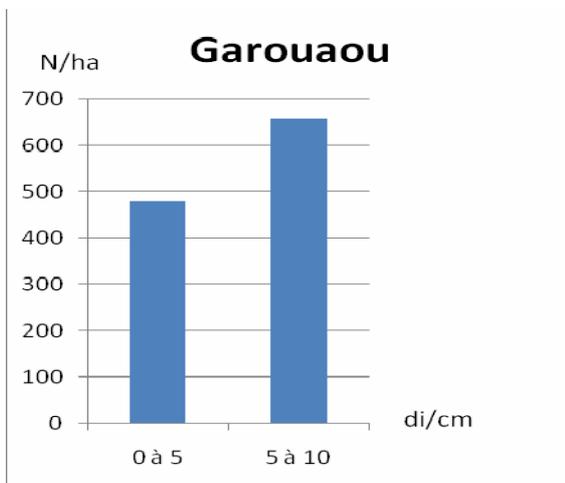


Fig. N°24 : Structure de la station de Garouaou

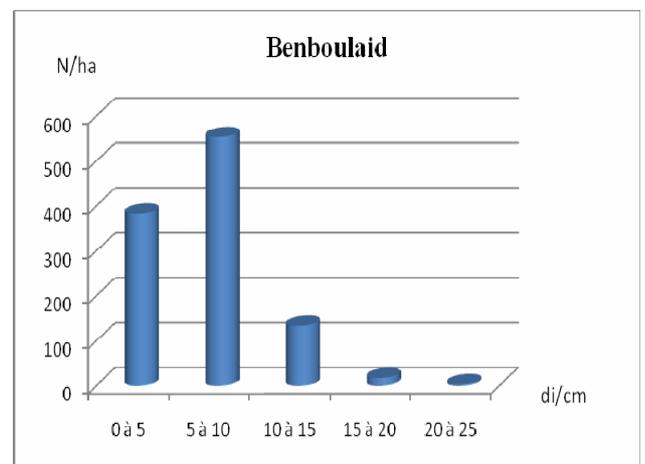


Fig. N°23: Structure de la station Benboulaid

I-2 Caractéristiques dendrométriques des placettes échantillonnées :

Dans les stations étudiées, l'âge moyen des peuplements est de **38 ans**. A partir du tableau qui représente les valeurs moyennes des paramètres dendrométriques, nous remarquons que l'écart-type est très grand pour certaines variables mesurées. Il est de 365,73 pour la densité cela est probablement dû à une large différence entre la valeur minimale (240 plants par hectare au niveau de la placette 4 de la station *Djebel Bouarif*) et la valeur maximale (1420 plants par hectare au niveau de la placette 5 dans la station *Benboulaid*). Le volume représente un écartement de 62,23 (entre un minima 3,02 m³/ha au niveau de la placette 4 dans la station *Benboulaid* et un maxima 211,69 3,02 m³/ha au niveau de la placette 4 de la station *Djebel Bouarif*). Pour le CCF il est de 46,67 avec une valeur minimale de 19,20 (placette 4 de la station *Benboulaid*) et une maximale de 197,23 (placette 10 de la station *Djebel Bouarif*).

Tableau N° 13: Paramètres statistiques des variables dendrométriques

	Nombre De placettes	Moyenne	Valeur Minimale	Valeur Maximale	Ecart-type
Age (an)	30	38	24	46	7,95
Dm (cm)	30	14,70	3,13	38,17	9,53
Dg (cm)	30	15,61	3,50	38,40	9,95
Hg (m)	30	7,27	1,8	16	4,37
Hdom (m)	30	8,092	1,88	22,8	5,10
N/ha (tiges/ha)	30	801	240	1420	365,73
G/ha (m³/ha)	30	12,62	0,88	33,10	9,37
V/ha (m³/ha)	30	61,12	3,02	211,68	62,23
Amv (m³/ha/an)	30	1,82	0,12	4,60	1,33
a	30	4,18	2,85	6,93	1,18
s%	30	73,82	16,26	160,22	44,24
H/D	30	0,48	0,319	0,85	0,14
Dh	30	4,25	1,44	9	2,20
CCF	30	88,16	19,20	197,23	46,67

I-2-1 La hauteur moyenne:

D'après la **figure N°25**, les plus grandes hauteurs sont situées au niveau de la station *Djebel Bouarif* avec un maximum de **16 m** (placette N°04), suivie de la station *Berriche* avec une valeur de **15 m** (placette N°04), alors que la station de *Garouaou* accuse la plus faible hauteur qui est 1,8 m (placette N°03).

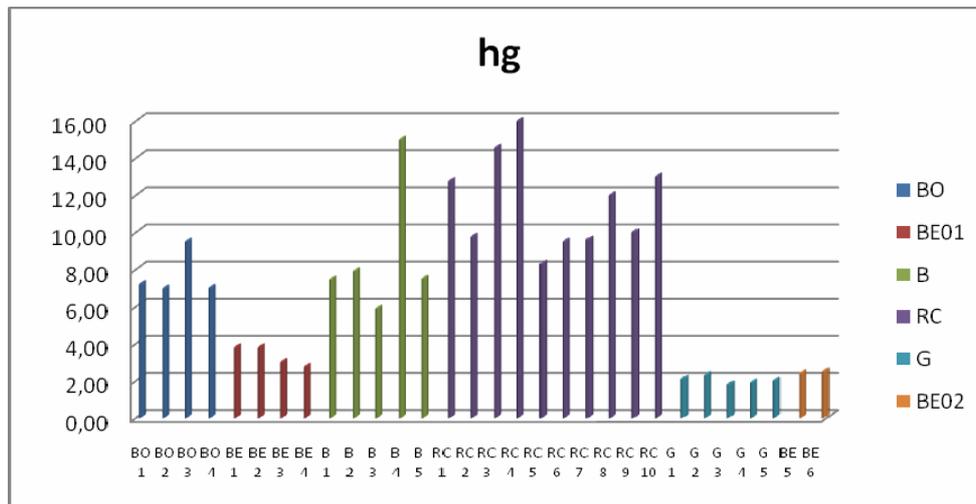


Fig. N°25 : la hauteur moyenne par parcelle

Il est à remarquer que ces hauteurs importantes (**Fig. N°26**), se situent dans un écartement entre les arbres de **5 à 7 m**, cet état de fait explique l'effet de la densité sur la croissance de la hauteur des arbres par une perte de la croissance cumulée.

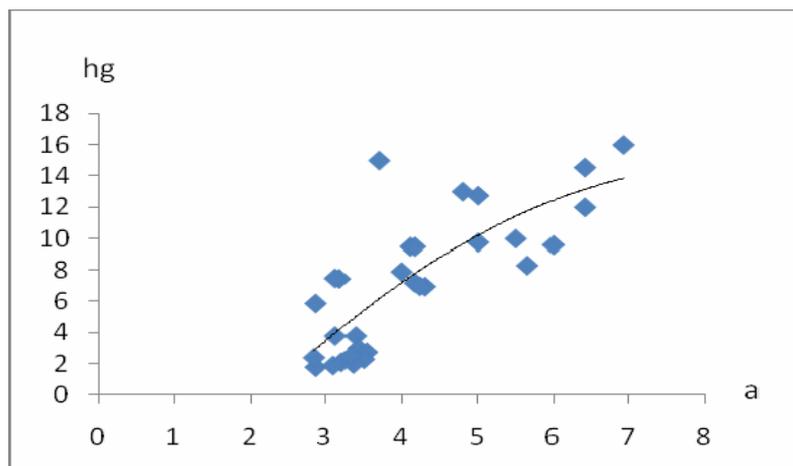


Fig. N°26: la hauteur moyenne-facteur d'espacement

I-2-2 Le diamètre moyen :

La densité a aussi un effet sur la croissance du diamètre, on constate qu'une grande partie de peuplement se situe au niveau des classes (0-5) et (5-10). En effet, on peut remarquer que pour une densité inférieure à 400 tiges par hectare les diamètres sont plus gros. Cette constatation apparait dans les figures 27 et 28. La valeur maximale est de **38,40 cm** (placette N°04) se situe au niveau de la station de *Djebel Bouarif* et le minimum est de **3,50 cm** au niveau de la station *Benboulaid I* (placette N°04). La moyenne est de **15,61 cm** et un écartement entre **5 à 7m** pour les gros diamètres de la station *Djebel Bouarif* ça explique l'effet positif d'espace moyen sur le diamètre (fig. N°29).

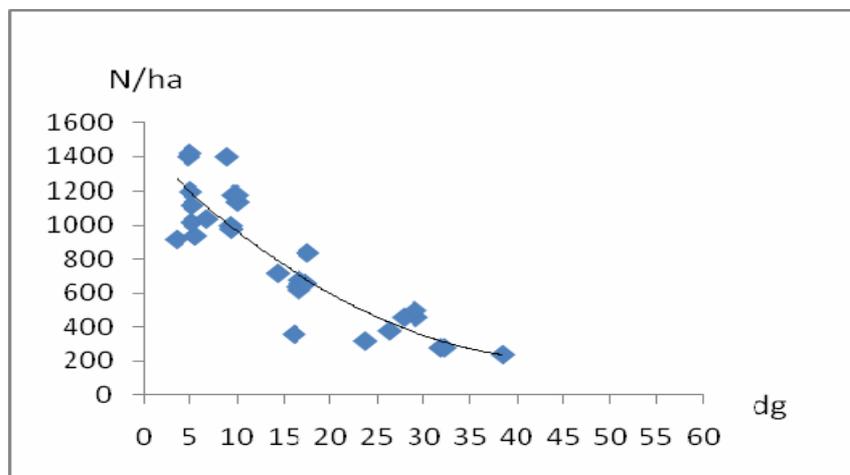


Fig. N°27 : Nombre de tiges à l'hectare en fonction du diamètre moyen

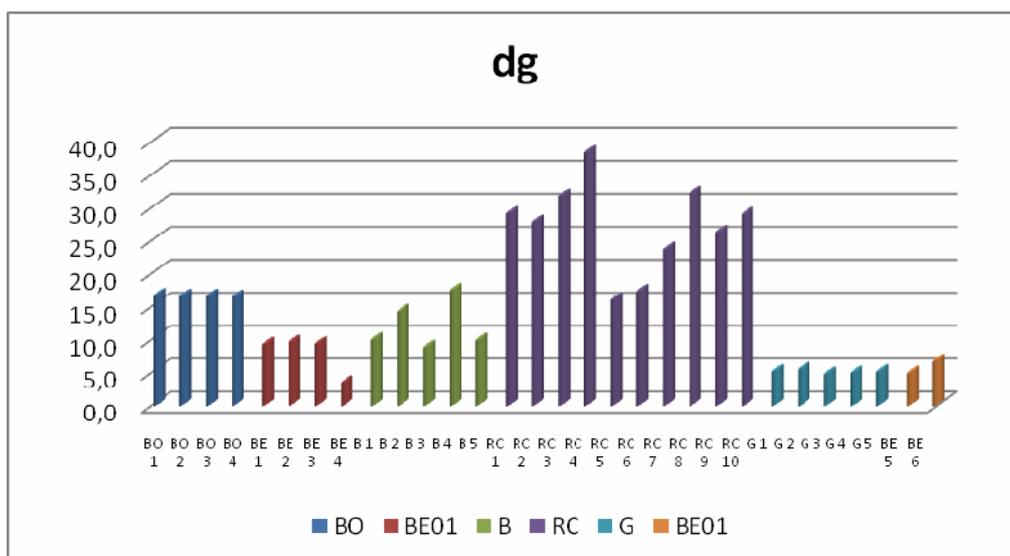


Fig N°28 : diamètre moyen des arbres des parcelles

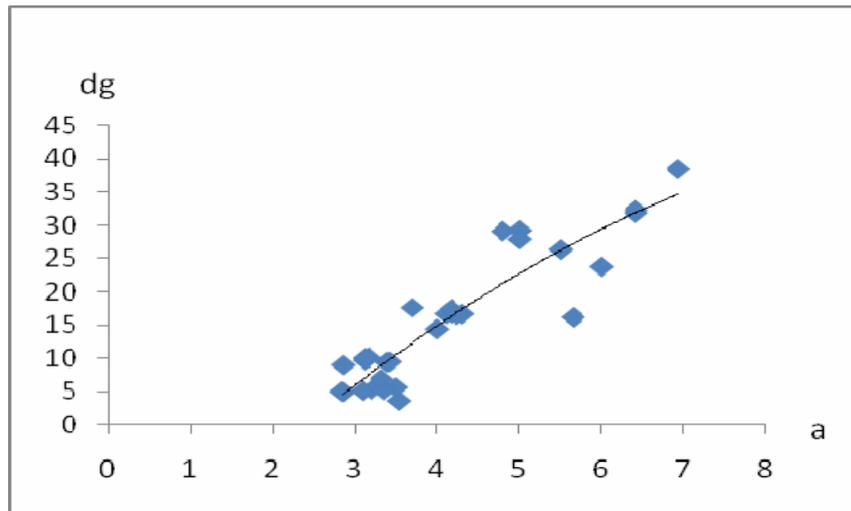


Fig. N°29: le diamètre moyen en fonction du facteur d'espacement

I-2-3 Le volume et l'accroissement moyen :

Il existe aussi une très bonne corrélation entre le volume total et la hauteur dominante (fig. 30). Cette relation relève de la loi d'Eichhorn qui stipule que dans une station climatiquement homogène, la production totale d'une station est liée à la hauteur dominante. Cette dernière constitue effectivement un bon indice de la production d'une station.

La station *Djebel Bouarif* présente les meilleures performances en accroissement moyen t en volume avec une valeur **4,6 m³/an/ha** qui se caractérise par le nombre de tige à l'hectare le plus faible. Contrairement à la station de *Benboulaid* qui se caractérise par un diamètre moyen et une hauteur moyenne faible.

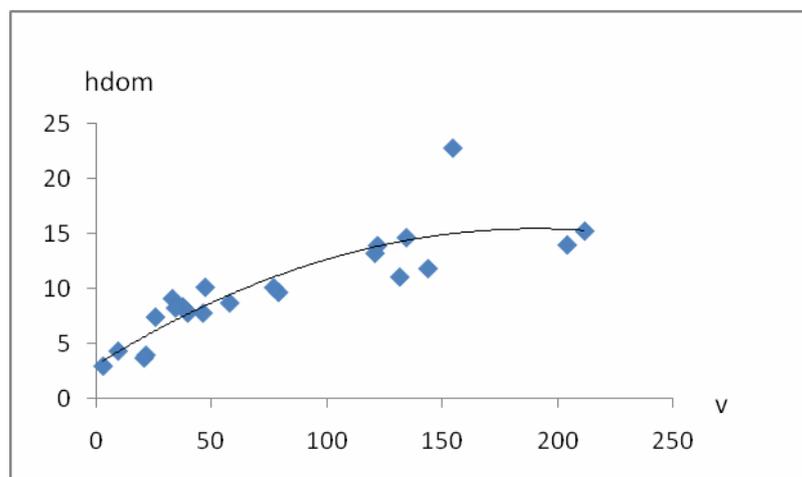


Fig. N°30: le volume moyen en fonction de la hauteur dominante

I-2-4 Relation facteur de stabilité et facteur d'espacement :

La figure (N°31) montre que la corrélation est inversement proportionnelle entre ces deux facteurs. Plus le facteur d'espacement s'approche de la valeur 100, moins le facteur de stabilité est faible. Cette corrélation est fortement liée à la variabilité de la hauteur dominante.

Un peuplement est beaucoup plus stable quand l'écartement moyen entre les arbres est plus important.

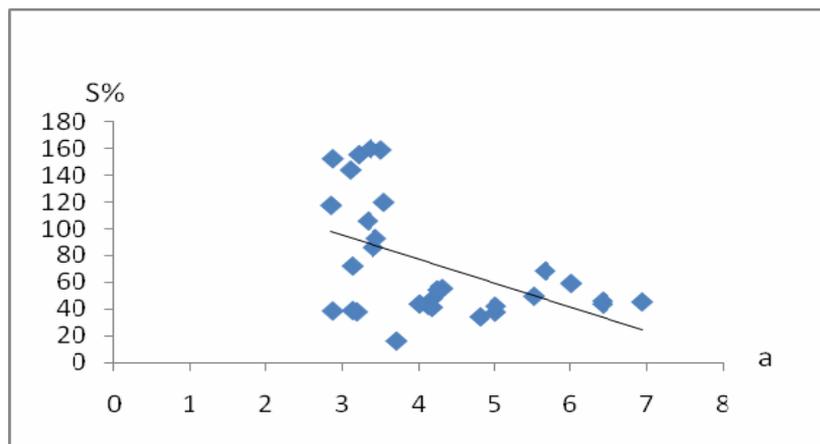


Fig. N°31: facteur de stabilité en fonction de facteur d'espacement

I-2-5 Relation entre facteur d'élancement et l'espacement moyen :

Le facteur d'élancement (facteur de stabilité) caractérise surtout le degré de stabilité, plus ce facteur est faible plus le peuplement est stable vis-à-vis au vent. Les valeurs supérieures à 100 témoignent des peuplements à haut risque alors que des valeurs inférieures à 80 caractérisent des peuplements bien armés pour résister aux vents.

La grande valeur de h/d se localise à l'écartement de 3 à 4 m, plus l'écartement augmente plus la valeur de h/d diminue. La valeur maximale est de **0,85** se trouvant à la station *Berriche* (placette N°04). D'une manière générale le peuplement ne présente aucun risque aux vents.

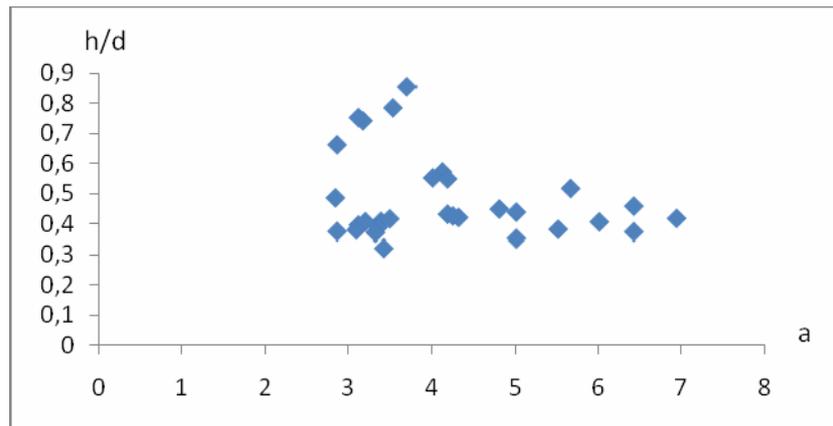


Fig. N°32 : le facteur d'élanement en fonction d'espacement moyen

I-2-6 Le facteur de compétition des houppiers :

La relation entre le diamètre à 1,30m et le diamètre du houppier est de type :

$$d_{h0} = 0,2131d + 0,9291$$

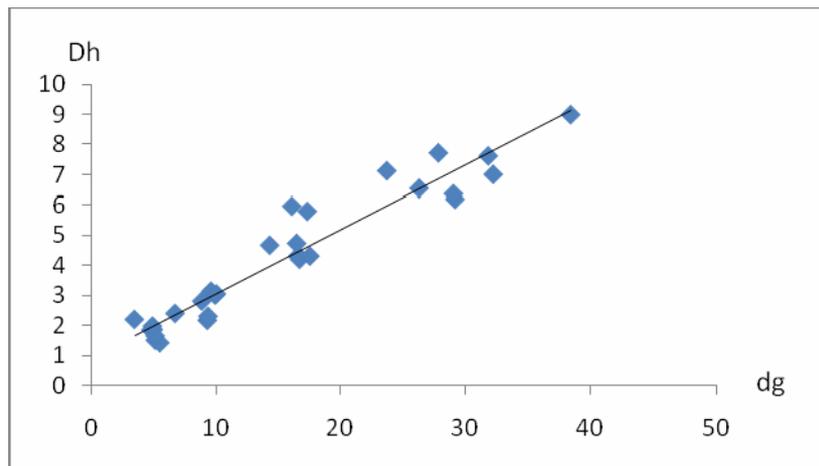


Fig. N°33: Relation entre le diamètre à 1,30m et le diamètre du houppier.

Les arbres d'un peuplement qui se sont développés sans concurrence et qui ont atteint le stade de complète fermeture, sont caractérisés par un facteur de compétition approximativement égal à 100. La concurrence est d'autant plus accentuée que ce même facteur grandit au delà de 100.

La relation entre le facteur de compétition des houppiers (CCF) et l'espacement moyen nous révèle que la surface disponible pour l'arbre moyen du peuplement étudié, pour un meilleur développement sans concurrence doit se situer dans un écartement de 3 à 4m (fig. N°34).

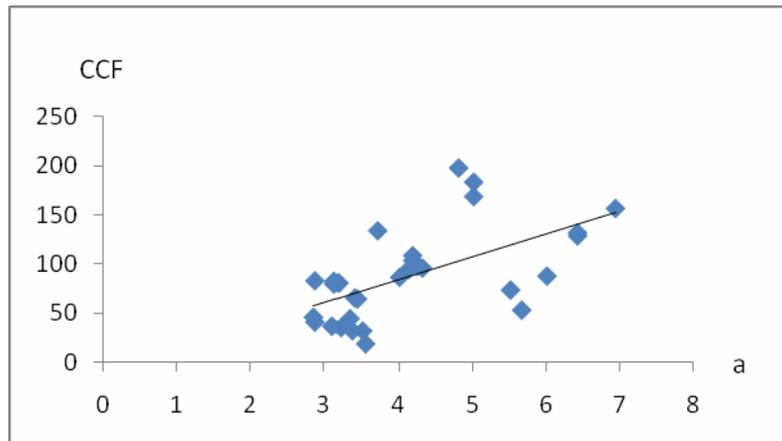


Fig. N°34: facteur de compétition des houppiers en fonction de facteur d'espacement

I-2-7 Profil de l'arbre :

Nous avons aussi recherché à connaître le profil de l'arbre à partir de la mesure de diamètre à différents niveaux de la hauteur de l'arbre. La relation entre le diamètre et la hauteur est exprimée par l'équation suivante:

$$d_i^2 = 6,031(h-h_i) 0,71$$

Cette équation permet d'estimer le diamètre à n'importe quel niveau de la hauteur de l'arbre et aussi, permet de déterminer la décroissance métrique moyenne. Dans ce cas, elle est de 1.50 cm ($p = 6,031/4$) par mètre courant avec une valeur de r égale à 0,71 en moyenne ($R^2 = 0,72$).

II- Modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep :

La croissance en hauteur d'un peuplement est fortement liée aux conditions stationnelles (climat, sol, topographie, exposition, etc...). Il s'agit de déterminer dans un domaine d'étude les facteurs du milieu qui expliquent au mieux la croissance d'une essence (relation milieu-croissance) afin de fournir aux forestiers un outil simple de diagnostic de productivité sur terrain.

La reconstitution de la croissance en hauteur d'un arbre est réalisée par analyse de tiges (compter les cernes sur différents niveaux de la hauteur de l'arbre), afin de déterminer un indice de fertilité.

L'indice de station ou **site index** se chiffre par la hauteur dominante ou la hauteur moyenne atteinte à un âge de référence donné par un peuplement régulier composé d'une seule essence dite essence de référence (ANONYME, 1979).

La hauteur dominante varie de manière assez continue dans le temps, ce qui à l'inverse des hauteurs moyennes habituelles, lui permet d'être une bonne expression de la croissance du peuplement. De plus, cette hauteur est peu sensible à l'intensité et au type des éclaircis, pour autant qu'il ne s'agisse pas de pratiquer des éclaircies régulièrement fortes par le haut ; à ce titre elle peut être utilisée comme base de définition de classes ou de niveaux de productivité (RONDEUX, 1993).

II-1 Reconstitution de la croissance en hauteur dominante et en diamètre d'un peuplement :

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 (fig. N°29).

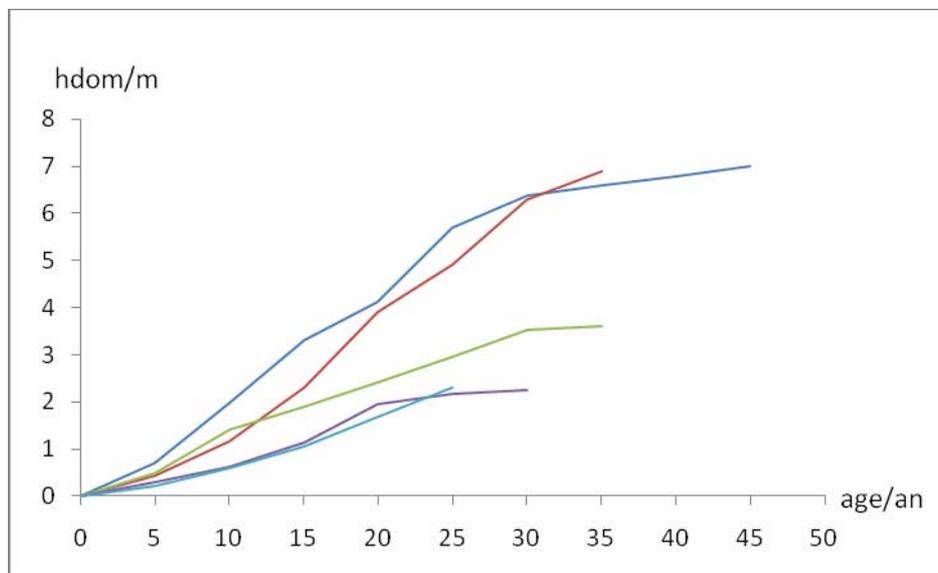


Fig. N°35 : faisceau de courbes expérimentales de la hauteur dominante

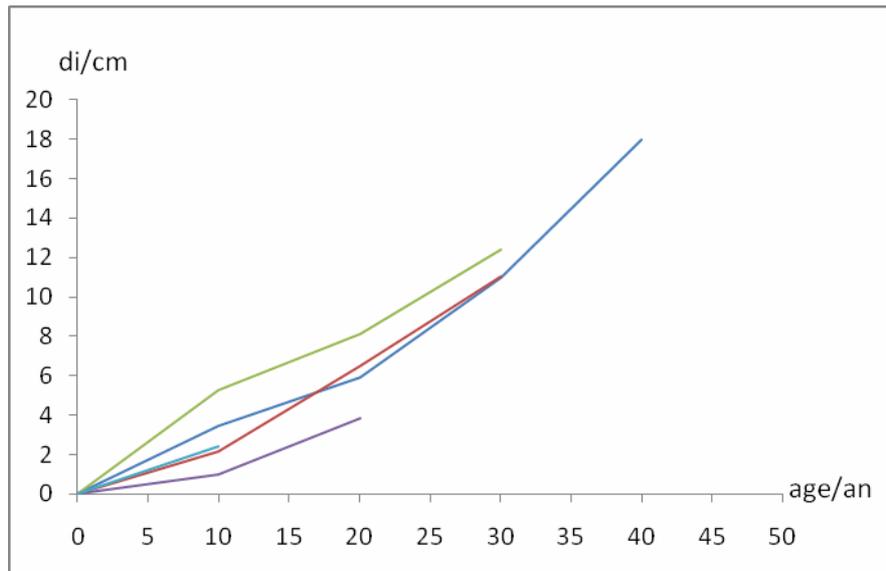


Fig. N°36 : faisceau de courbes expérimentales des diamètres

L'allure de la courbe de la figure N°30 détermine l'évolution du diamètre en fonction de l'âge.

II-2 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 in BENTOUATI, 2006). Il est fixé en réalité en fonction de la structure des peuplements auxquels il est destiné (BENTOUATI, 2006). Selon M'HIRIT (1982) cet âge est défini à partir de l'accroissement courant maximum (peuplements encore en pleine croissance). Par contre, d'autres préfèrent utiliser l'âge qui correspond au seuil d'exploitabilité.

Certains ont fixé cet âge à 70 ans c'est le cas de BROCHIERO (1997), RIPERT et VENNETIER (2001) et BENTOUATI (2006).

Dans notre cas, les peuplements étudiés sont très jeunes. L'âge de référence choisi est **25 ans** qui est proche de l'âge minimal du peuplement (**24 ans**).

II-3 Ajustement du modèle de Chapman – Richards :

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

$$H_{dom} = k_1 [1 - \exp^{-0,0274x \text{ âge}}]^{1,6311}$$

II-4 Etablissement des classes de croissance:

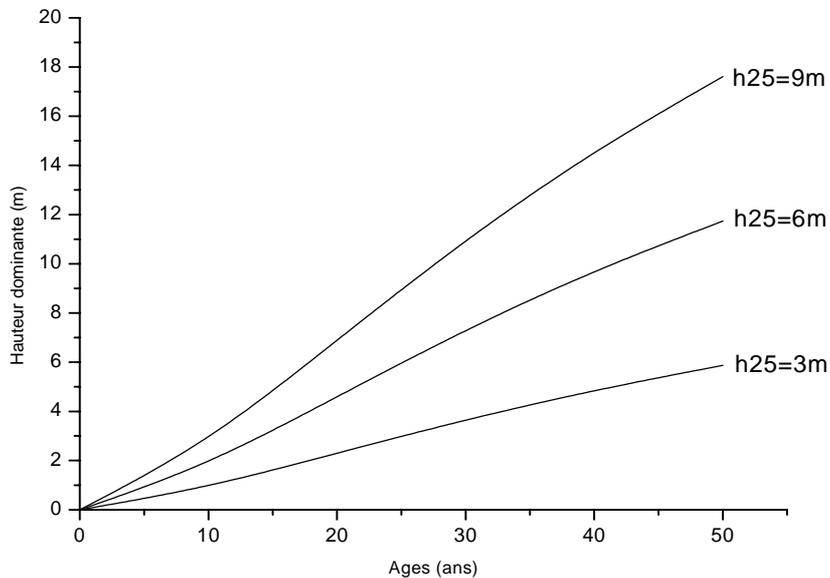


fig : Classes de fertilité

Fig. N°37: classes de croissance pour le pin d'Alep.

A partir du modèle choisi, 3 courbes de croissance sont tracées. Elles correspondent aux sites index de 3 m, 6 m et 9 m pour un âge de référence de 25 ans (**fig. N°31**).

La limite entre les classes est fixée arbitrairement, ainsi une amplitude de 3 mètres est choisie pour les différentes classes de croissance :

Classe I : $7,5 \leq SI \leq 10,4$

Classe II : $4,5 \leq SI \leq 7,4$

Classe III : $1,5 \leq SI \leq 4,4$

Le tableau N°14 représente les classes de croissance et leurs caractéristiques dendrométriques.

Il ressort d'une manière générale que les classes de croissance se distinguent entre elles par les paramètres dendrométriques qui sont très expressifs. L'espacement moyen et la densité sont les paramètres les plus déterminants dans la caractérisation des classes de croissance. En effet, plus l'espacement entre les arbres est grand, plus les paramètres dendrométriques des peuplements sont meilleurs.

Les classes définies présentent les caractéristiques suivantes :

Classe I de bonne fertilité dont l'indice de station moyen dépasse les 9 mètres. Cette classe est constituée principalement des peuplements de la station *Djebel Bouarif* et la

placette 04 de la station *Berriche*. Ces peuplements représentent la meilleur croissance en diamètre (26,31 cm), une surface terrière importante avec une densité moyenne de 435 plants par hectare et un espacement moyen 5,42 m. Ce qui confirme ce qui a été observé au chapitre précédent concernant l'effet de ces deux derniers facteurs sur la croissance des peuplements.

Tableau N°14: Caractéristiques dendrométriques moyennes des classes de croissance

variables	Classe I	Classe II	Classe III
SI limites (m)	7,5 - 10,49	4,5 - 7,4	1,5 - 4,4
SI moyen (m)	9	6	3
placettes	RC ₁ , RC ₂ , RC ₃ , RC ₄ , RC ₅ , RC ₆ , RC ₇ , RC ₈ , RC ₉ , RC ₁₀ , B ₄	BO ₁ , BO ₂ , BO ₃ , BO ₄ , B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₅	BE ₁ , BE ₂ , BE ₃ , BE ₄ , B ₅ , BE ₆ , G ₁ , G ₂ , G ₃ , G ₄ , G ₅
N/ha (p/ha)	435	880	1111
Dg (cm)	26,31	13,71	6,30
Hg (m)	11,86	7,42	2,57
Hdom (m)	13,19	8,34	2,80
G/ha (m²/ha)	21,045	11,864	3,752
a (m)	5,42	3,75	3,24
Nombre de placettes	11	11	8

(**SI** : site index ; **N/ha**: nombre de plants à l'hectare ; **Dg**: diamètre moyen (cm) ; **Hg** : hauteur moyenne (m) ; **Hdom** : hauteur dominante (m) ; **G/ha** : surface terrière par hectare ; **a** : espacement moyen (m)).

Classe II intermédiaire (modérée) représentée par les stations *Bouadloune* et *Berriche* (placette 01, 02, 03, et 05) avec une densité moyenne de 880 plants par hectare.

Classe III pauvre, l'indice de station est de 3 mètres. Elle représente 26% du peuplement étudié au niveau des stations *Benboulaïd* et *Garouaou*. Elle est caractérisée par une densité importante et un diamètre faible. Ce peuplement est encore jeune et il est en début de croissance.

Tableau N°15 : Présentation des classes de fertilité

Calsses de croissance	SI(m)	observation
Classe I	9	Fertile
Classe II	6	Modérée
Classe III	3	Pauvre

II-5 Discussion :

La densité à l'hectare dépend à la fois de la station et de l'essence. C'est un critère important dont dépend l'avenir du peuplement et la nature des opérations sylvicoles ultérieures.

Dans un climat chaud et aride une densité élevée est importante (pour créer un microclimat afin de limiter l'évapotranspiration) ne doit pas être inférieure à 1600 plants par hectare (espacement de 2,5m×2,5m pour une disposition en carré et de 2,7m×2,7m avec une disposition en septonce). Une densité de 2222 plants par hectare avec une disposition en rectangle (distance de 3m×1,5m) semble être la densité optimale (**ORAZIO, 1986**).

En Algérie, vu les très faibles disponibilités en eau et l'état très clair des forêts naturelles actuellement existantes, il paraît qu'on ne peut songer à établir ici des boisements à forte densité (**LETREUCH, 1991**). La densité souhaitable serait de 1100 plants par hectare avec un espacement de 3,5m×2,5m comme l'a suggéré le plan national des reboisements (**1996**).

Au niveau des peuplements étudiés, dont la densité initiale est de 1600 plants par hectare, nous constatons que certains comprennent une très forte densité c'est le cas de la station *Benboulaid* (en moyenne 1290 plants par hectare). Par contre, d'autres représentent une faible densité au niveau de la station *Djebel Bouarif* (387 plants par hectare). Ce manque de plants/ha peut être expliqué soit que la densité de reboisement n'a pas été respectée si toutefois aucune action n'a été pratiquée, soit quelques plants n'ont pas réussi, ou bien les habitants les plus proches de ces régions coupent quelques pieds pour l'utilisation personnelle.

L'action de la densité sur les paramètres dendrométriques du peuplement influe beaucoup plus sur le diamètre que sur la hauteur. Il apparaît clairement que la densité a une grande influence sur les paramètres étudiés. L'augmentation de la densité conduit à une diminution de l'espacement moyen entre les arbres ainsi sur les diamètres et les hauteurs des tiges. Cela est dû au phénomène de compétition entre les arbres, et en conséquence sur le

volume des peuplements ainsi que sur la productivité. Ceci a été observé au niveau de la placette 04 de la station *Djebel Bouarif* avec une densité de 240 plants par hectare (hdom=15,24 m, hg=16 m, dg=38,4 cm et a= 6,94m). Par contre au niveau de la placette 03 de la station *Garouaou* qui enregistre les plus faibles résultats (hdom = 1,88 m, hg = 1,8 m, dg = 4,8 cm, a=2,87m) qui sont probablement dus à une forte densité de plantation (1400 plants par hectare).

L'espace moyen entre les arbres le moins concurrentiel se situe autour de 4 à 5 m. Cet écartement permet aux arbres de croître convenablement. Le peuplement s'éclaircie au fur et à mesure pour arriver enfin de compte à un écartement moyen de 5 à 6 m pour un âge de 40ans. A cet âge le diamètre arrive entre 30 et 40cm en fonction de la fertilité de la station. Le nombre d'arbre varie entre 200 à 300 tiges à l'hectare.

Pour un meilleur développement et une meilleure croissance du peuplement du pin d'Alep, ceci nécessite un espace vital important pour l'alimentation en eau et en sels minéraux sans qu'il y ait une concurrence entre les différentes racines.

L'absence des travaux sylvicoles est un élément majeur qui a permis au peuplement de maintenir sa forte densité. **ORAZIO (1986)**, prévoit des éclaircies à l'âge de 12, 19, 27 ans et une coupe finale à 40 ans environ avec une densité de 400 plants à l'hectare.

Conclusion:

L'étude menée sur le pin d'Alep dans les différentes stations (*Bouadloune, Benboulaid, Berriche, Garouaou et Djebel Bouarif*) a permis de mettre en lumière certains facteurs qui agissent sur la croissance de cette espèce.

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

Les classes de croissance définies à partir de la hauteur dominante à un âge de référence sont influencées surtout par la densité du peuplement, plus l'écartement entre les arbres est grand, plus meilleure est la production du peuplement.

Les différents milieux écologiques jouent un grand rôle sur la variation de la croissance en hauteur des peuplements étudiés (effet). La recherche des facteurs responsables de cette diversité fera l'objet de la typologie écologique dans le chapitre suivant.

III- Effet des facteurs du milieu sur la croissance des peuplements du pin d'Alep :

Le comportement écologique et la croissance en hauteur des essences forestières est fonction des conditions du milieu naturel (BOISSEAU, 1996). Notre étude a donné trois classes de fertilité à savoir *Djebel Bouarif* (classe I), *Bouadloune* et *Berriche* (classe II) et enfin *Benboulaid* et *Garouaou* (classe III). Nos interprétations et analyses vont donc porter sur ces trois classes de fertilité.

III-1 Le sol :

La plupart des arbres forestiers se contentent de terrains pauvres en matières minérales. La défoliation restitue au sol des matières minérales par l'intermédiaire de l'humification « La forêt vit en cycle fermé ». De ce fait, la teneur en réserves minérales des sols forestiers n'est pas un facteur limitant pour le développement des peuplements forestiers ; la croissance des essences forestières dépend plutôt d'autres facteurs (perméabilité, structure...). Les sols de structure compacte sont dans la majorité des cas défavorables pour l'évolution d'une forêt; ils sont imperméables, se dessèchent très vite, deviennent durs et crevassés et les racines des essences forestières se déchirent en été (sols argileux). La perméabilité et la capacité de rétention en eau, nécessaires pour le développement des arbres sont en général caractéristiques des sols profonds. La croissance des essences forestières dépend donc de la « profondeur du terrain » qui correspond à la couche meuble dans laquelle peut s'installer la majeure partie de l'appareil racinaire. Pour répondre à l'objectif de l'effet du milieu « sol » sur la croissance du pin d'Alep, nous avons réalisé une étude des profils au niveau de chaque station et complétée par des analyses au laboratoire. Au niveau de chaque station, nous avons creusé des fosses pédologiques pour déterminer les caractéristiques d'un sol pouvant nous apporter des renseignements expliquant les effets du sol sur les variations de croissance et de développement du pin d'Alep. L'étude du profil est indispensable du moment qu'elle nous renseigne sur le milieu dans lequel a évolué le végétal.

L'analyse du **tableau N°16** (ci-dessous) fait ressortir que le sol a une profondeur de 60cm, reposant sur une roche mère calcaire marne friable. La charge caillouteuse très importante (30-40%) dans l'horizon de surface (0-25 cm) ; Au-delà, cette dernière diminue considérablement et enregistre une proportion de 5 %. La réaction du sol avec Hcl a donné de fortes effervescences, caractéristiques d'une présence importante de calcaire. Concernant les autres propriétés du sol (structure, porosité, indice d'instabilité structurale « IS », capacité de rétention en eau), nous constatons que le sol présente des caractères assez bonnes avec une

structure en grumeaux, une porosité assez élevée (65-70 %), un IS =0,7 significatif d'une structure stable aux facteurs externes tels que les pluies orageuses, et enfin une capacité de rétention occupant plus de la moitié de la porosité totale, assez significative de la bonne structure. Les sols à structure stable offrent souvent une porosité totale élevée, de plus la microporosité et la macroporosité sont de même ordre de grandeur. Pour ce qui est des autres propriétés, nous notons une richesse du sol en matière organique dans l'horizon de surface, toutefois, il y'a quelques racines de pin d'Alep en voie de décomposition en profondeur. La présence d'une activité biologique (vers de terre), expliquant une aération du sol qui est due au creusement des galeries par cette faune. Enfin, nous pouvons signaler que les racines du peuplement en général, présentent un état sain dans tout le profil (développement horizontal très important) avec une absence totale de taches spéciales telles que les sels ou autres. Cette étude a été complétée par des analyses de sol au laboratoire, afin de compléter ou de confirmer quelques résultats (**tableau N°17**).

Tableau N°16: Présentation du profil de la station *Djebel Bouarif*

Profondeur en cm (*)	0 A ₁ : couche de MO	25 A ₂ : MO décomposée
charge Caillouteuse%	30-40	5
couleur	Marron-foncé	Noir
Humidité%	4,5	4,5
Réaction HCL	Effervescence	effervescence
Structure	Grumeaux	Idem
Porosité %	65	70
IS	0,75	0,71
Capacité de rétention %	35	40
Matière organique (nature, importance)	Aiguilles de pin d'Alep, peu décomposés.important	Humus, bien réparti dans le profil
Racines : forme, localisation, état sanitaire	Verticales, saines dans toute la couche Bien développées.	Verticales, puis horizontales, bien développées.
Activité biologique : nature, importance	Présence de vers de terre, quantité importante.	Idem
Formations spéciales	Absence	Idem

(*) > 60 cm roche mère: Couche calcaire marneuse friable.

Les analyses ont porté sur la granulométrie qui a pour but de déterminer les proportions entre les différentes fractions (argiles 35 %, limons 30 % et sables 35%). C'est une texture moyenne comportant à la fois suffisamment de colloïdes et d'éléments grossiers. Les différentes proportions portées sur le triangle de texture Soil Survey Manual (USDA) ont donné une texture limono-argilo-sableuse (texture équilibrée).

Le taux de salinité est de l'ordre de 1,44 (faible), ne peut avoir d'effet néfaste sur le végétal. Le pH du sol (7,32) est neutre à sensiblement basique (présence d'une roche calcaire). Les concentrations en calcaire sont élevées (59,42 %), il en est de même pour le calcaire actif qui enregistre 14,7%. La CEC est assez bonne (43), elle est liée au taux d'argile dans le sol. Nous constatons que le sol est assez riche en matière organique (9,63%), pouvant agir favorablement sur les propriétés du sol. Pour ce qui est des éléments chimiques comme le sodium, le potassium et le phosphore, le sol semble pauvre en ces constituants nécessaires pour la croissance du végétal.

Tableau N°17: Les propriétés physiques et chimiques du sol de la station de *Djebel Bouarif*

Propriétés	Valeurs
Granulométrie % :	
Argiles	36,76
Limons fins	30,63
Limons grossiers	14,15
sables fins	15,22
sables grossiers	10,24
CE mmhos /cm	1,71
PH	7,50
CEC meq /100g	43
Na⁺ meq /100g	0,081892
K⁺ meq/100g	0,00164
Calcaire total %	59,42
Calcaire actif %	14,7
Carbone %	5,6
Matière organique %	9,63
Azote %	1,15
C/N	4,86
P₂O₅ (ppm)	1883,33

L'étude des tableaux (N^o18 et 19) de la deuxième classe de fertilité (stations *Bouadloune* et *Berriche*) fait apparaître que nos sols ont la même roche calcaire marneuse tendre en comparaison avec la station 01, ainsi qu'une charge caillouteuse importante (45%) dans l'horizon de surface, et faible en profondeur. Par contre, la profondeur diminue sensiblement par rapport à la première (de 60cm, elle descend à 50cm). La réaction avec Hcl est la même avec effervescence assez forte (roche calcaire). Les autres propriétés du sol sont d'une manière générale assez bonnes avec une structure en grumeaux, une porosité assez élevée (56-60%), un indice d'instabilité inférieur à 1, une capacité de rétention en eau = 30 %. Nous notons également une quantité importante d'aiguilles de pin d'Alep s'accumulant en surface, indicatrice d'une décomposition difficile de ce type de matière organique; toutefois, nous constatons que le sol a changé de couleur avec une teinte noire (présence d'humus) qui joue un grand rôle dans l'amélioration des propriétés des sols. La présence de quelques vers de terre marquant une activité biologique assez bonne.

Tableau N°18: Présentation du profil de la station *Bouadloune*

Profondeur en cm (*)	0 16	16 50
	couche de MO	A ₁ : MO décomposée
charge Caillouteuse %	40-45	5
couleur	Marron	Marron foncé
Humidité%	3,4	3,6
Réaction HCL	Effervescence	effervescence
Structure	en grumeaux	idem
Porosité %	60	62
IS	0,95	0,95
Capacité de rétention %	30	30
Activité biologique (nature, importance)	Présence de lombrics	/
Racines, forme, Localisation, état sanitaire	racines très fines, développement horizontal, état sain	Majorité en bon état. Une partie en cours de décomposition
Matière organique (nature, importance)	Aiguilles de pin en grande quantité	Aiguilles et racines en décomposition
Formations spéciales	Absence	Idem

(*) > 50 cm roche mère : Couche calcaire marneuse friable.

Tableau N°19: Présentation du profil de la station *Berriche*

Profondeur en cm (*)	0 20	20 50
	MO non décomposée	MO décomposée
Charge Caillouteuse%	40-50%	Absence
couleur	Marron	Marron foncé
Humidité%	4,4	5,5
Réaction HCL	Forte effervescence	Effervescence
Structure, type développement cohésion	Polyédrique	Polyédrique
Porosité %	56	58
IS	0,91	0,93
Capacité de rétention en eau (%)	30	35
Activité biologique (nature, importance)	Présence de quelques vers	/
Racines, forme Localisation, état sanitaire	très développées horizontales saines	Horizontales, saines
Matière organique (nature, importance)	Racines de pin très développées	racines en décomposition

Concernant les analyses au laboratoire (**tableau N°20**), l'analyse granulométrique fait ressortir que nos deux sols ont une texture limono-argileuse qui est classée dans la gamme des textures argileuses (plus de 35% d'argile). En ce qui concerne la salinité, le pH, la CEC, le calcaire total et actif, la classe II présente les mêmes caractères que la classe I. Cependant, le taux de matière organique enregistre une quantité plus importante que dans la classe I; cela est dû probablement à la forte densité de reboisement, donc une forte défoliation. La CEC est faible au niveau de la station de Berriche (23). Pour ce qui est des autres éléments chimiques (N, Na⁺, K⁺, P), nous constatons qu'ils ont pratiquement les mêmes quantités.

Tableau N°20 : Caractéristiques physiques et chimiques des sols

Stations	Berriche	Bouadloune
Propriétés		
Granulométrie % :		
Argiles	33,33	38
Limons fins	23	18,82
Limons grossiers	23,32	21
sables fins	18,47	10,18
sables grossiers	1,88	12
CE mmhos.cm ⁻¹ , ds m ⁻¹	1,44	1,50
pH	7,19	7,32
CEC meq /100g	23,2	40
Na ⁺ meq /100g	1,19	0,25
K ⁺ meq/100g	0,0066	0,0014
Calcaire total CaCO ₃ %	54,30	55
Calcaire actif Ca ⁺² %	19	12,6
Carbone C %	2,58	8,4
Matière organique %	4,44	14,44
Azote %	01,4	0,93
C/N	01,84	9,03
P ₂ O ₅ (ppm)	4050	4166,66

Tableau N°21: Etude du profil de la station Benboulaid

Profondeur en cm (*)	0 15	15 40
charge Caillouteuse%	10 - 15	/
couleur	Marron jaunâtre	Blanche
Humidité %	7,7	9
Réaction HCL	effervescence	Effervescence
Structure, type développement cohésion	compacte	Compacte
Porosité %	38	37
IS	1,3	1,24
Matière organique (nature, importance)	Aiguilles de pin d'Alep	/
Activité biologique (nature, importance)	/	/
Racines, forme, Localisation, état sanitaire	Fasciculées Bon	Horizontales
Formation spéciale (tache, concrétion, Efflorescences)	/	/
Capacité de rétention en eau (%)	28	25

(*) > 40 cm roche mère: Couche calcaire marneuse dure.

Tableau N°22: présentation de profil de Garouaou

Profondeur en cm	0 20	20 40
	A ₁	A ₂
charge Caillouteuse%	40	45
couleur	Marron	Marron très clair
Humidité%	10	15
Réaction HCL	effervescence	Effervescence
Structure, type développement cohésion	Polyédrique	Polyédrique
Porosité %	40	39
IS	1,2	1,1
Matière organique (nature, importance)	Peu abondante	Idem
Activité biologique (nature, importance)	Aucune activité	/
Racines, forme, Localisation, état sanitaire	Horizontale, un peu de MO au cours de décomposition	Peu de racines Horizontales
Formation spéciale (tache, concrétion, Efflorescences)	Taches blanches (sels)	/
Capacité de rétention en eau (%)	26	27

Les tableaux (N^o21 et 22) illustrant les paramètres de l'étude des profils au niveau des stations *Benboulaid* et *Garouaou* font apparaître que les sols ont une profondeur relativement faible, ne dépassant pas 40 cm, caractérisée par deux types d'horizons de 15 et 25 cm, de couleurs respectives marron-jaunâtre et blanches (présence de sels) apparaissant sur les parois du profil au niveau de la station *Garouaou*. La charge caillouteuse est faible (10-15 %) située uniquement dans la première couche ; la roche est de type calcaire marneux dure et La réaction avec Hcl est très forte. Concernant les autres propriétés, nous constatons que les deux stations possèdent des structures moins favorables (polyédrique et compacte), probablement dues à une absence d'agrégats dans les sols, ce qui se traduit par des porosités faibles < 40 % et qui sont représentées surtout par la microporosité (26 %). La matière organique est surtout localisée dans les horizons de surface, peu décomposée.

Tableau N^o23 : Les propriétés physiques et chimiques des sols de la station Benboulaid et Garouaou.

Stations	Benboulaid	Garouaou
Propriétés		
Granulométrie % :		
Argiles	46,46	41,71
Limons fins	11,23	13
Limons grossiers	20	21,61
sables fins	10,8	13,24
sables grossiers	11,51	10,44
CE mmhos.cm ⁻¹	1,44	1,79
pH	8,06	7,52 - 8,34
CEC meq /100g	30	30,4
Na ⁺ meq /100g	0,22	0,96
K ⁺ meq/100g	0,0012	0,51
Calcaire total CaCO ₃ %	37	61,34
Calcaire actif Ca ⁺² %	1	6
Carbone C %	6,8	2,128
Matière organique %	11,69	3,66
Azote %	0,77	0,84
C/N	8,83	2,53
P ₂ O ₅ (ppm)	4050	4166,66

Pour les autres propriétés (**tableau N°23**), les textures sont argileuses (+ de 40 % d'argiles). La CE est relativement faible (< 2), une CEC = 30; les concentrations en calcaire total sont assez élevées surtout au niveau de *Garouaou* (61%), il en est de même pour le calcaire actif. Pour ce qui est de la matière organique, la station *Benboulaid* est assez riche (6%). Les mêmes tableaux font également apparaître que les sols sont assez pauvres en N, Na, K, et P.

III-2 La croissance du pin d'Alep en relation avec le sol :

Comme pour beaucoup d'essences méditerranéennes, c'est le bilan hydrique du sol qui conditionne en premier lieu la croissance du pin d'Alep (**RIPERT et VENNETIER, 2001**).

Des facteurs de type stationnel ont également une influence importante sur ce bilan. Les principaux facteurs favorables sont :

- Topographie : les vallées, vallons, plaines et plateaux ;
- Une grande profondeur des matériaux superficiels (altérites ou colluvions) ;
- Une faible charge en éléments grossiers ;
- Les textures équilibrées ou au moins mixtes ;
- Une topographie stationnelle concave ;
- Des matériaux d'origine colluviale.

A la lumière de nos résultats, nous pouvons déjà dégager en fonction des paramètres étudiés, les facteurs d'échec et de réussite du reboisement du pin d'Alep.

N.B. Tous les paramètres feront l'objet d'une étude séparée.

III.2.1 Roche-Mère et Profondeur :

Le type de substrat est calcaire-marneux au niveau de toutes les stations. Toutefois, des différences sont enregistrées au niveau de la friabilité ou de la dureté des roches. Les reboisements sur roche friable et sols profonds donnent les meilleurs résultats (cas des stations *Djebel Bouarif*, *Bouadloune* et *Berriche*), que ceux situés sur roche dure et peu profonds (*BenBoulaid* et *Garouaou*). Il semble donc que le pin d'Alep recherche préférentiellement les substrats meubles ou friables, comme l'explique **LOISEL (1976)**. Les végétaux évoluant sur roche dure trouvent des difficultés pour leur développement racinaire, donc l'exploitation de l'eau et des éléments minéraux sera limitée, surtout lorsque le sol a une faible profondeur. Les roches marneuses (argileuses) ont tendance à se dessécher profondément par évaporation en période sèche (forte remontée capillaire de l'eau), à s'engorger et devenir asphyxiants en surface lors des périodes pluvieuses et le sol devient

imperméable, la capacité de rétention est très forte (**RIPERT et VENNETIER, 2001; QUEZEL, 1986**). La profondeur des sols est un des facteurs de la fertilité.

III-2-2 Réaction à Hcl:

Le pin d'Alep supporte beaucoup mieux que d'autres espèces un taux élevé en calcaire actif (**BROCHIERO, 1997**). Le calcaire actif est considéré comme élevé lorsqu'il dépasse 7% et risque de créer la chlorose pour les végétaux ne supportant pas une concentration élevée (**COPPENET et JUSTE, 1979 ; LOZET et MATHIEU, 1990**). Dans notre cas, ce facteur n'est pas du tout limitant car toutes les stations ont présenté de réaction positive à Hcl.

III-2-3 Texture :

BROCHIERO (1997) a signalé que les textures équilibrées sont beaucoup fertiles que les sols argileux (lourds), trop sableux (sols filtrants et secs) ou trop limoneux (sols battants). Le pin d'Alep tolère très mal les fonds limoneux ou limoneux-argileux à sol compact (**QUEZEL, 1986**). Nos résultats sont semblables à ceux observés par les auteurs cités ci-dessus.

III-2-4 La profondeur du sol :

Elle est déterminante, les sols profonds (60 cm et plus) sont favorables à la croissance du pin d'Alep. A l'opposé, un sol moins profond (40 cm et moins) est défavorable. Nos résultats sont en nette concordance avec ceux observés par **RIPPERT et VENNETIER (2001) ; BROCHIERO (1997) ; BOISSEAU (1996)**. Au contraire, **ABBAS (1983)**, a signalé qu'il n'existait pas de corrélation entre la profondeur du sol et la présence du pin d'Alep. Les sols profonds offrent une plus grande possibilité aux racines pour l'exploitation de l'eau et des éléments minéraux. Le bilan hydrique est un facteur déterminant de la croissance du pin d'Alep.

III-2-5 La charge caillouteuse :

Les faibles charges en cailloux sont significativement favorables à la croissance du pin d'Alep (**RIPPERT et VENNETIER, 2001; BOISSEAU, 1996; BROCHEIRO, 1997**). Dans notre cas d'étude, la charge caillouteuse ne semble pas être corrélée avec la croissance du pin d'Alep car toutes les stations présentent une charge caillouteuse importante (+ de 40 %) à l'exception de Ben Boulaid (10-15%) et qui présente un échec de reboisement.

III-3 La croissance du pin d'Alep en relation avec le climat :

Toutes les études menées en ce sens ont montré que la croissance du pin d'Alep est étroitement liée aux facteurs climatiques (**ABBAS, 1983 ; BOISSEAU, 1996, BROCHEIRO, 1997 ; VENNETIER et al, 1999 ; RIPPERT et VENNETIER, 2001 ; BOUDY, 1952 ; DEL CAMPO et al, 2007**). Les climats chauds et humides donnent les meilleurs résultats. Dans notre cas, les stations (Djebel Bouarif et Berriche) à précipitations relativement plus élevées, nous constatons que le pin d'Alep présente une meilleure croissance que dans les autres stations (*Bouadloune, Garouaou et Ben Boulaid*). Le modèle bioclimatique stimule une diminution significative de la productivité liée à une augmentation de la sécheresse estivale (**RATHGEBER, 2002**).

Le climat méditerranéen est caractérisé par une répartition inégale des précipitations au cours de l'année avec une période de sécheresse estivale plus ou moins importante qui représente la principale contrainte pour la végétation (**DAGET 1977**). L'évolution de cette contrainte, en relation avec les changements climatiques, peut devenir critique pour la végétation méditerranéenne (**HOFF et RAMBAL, 2000**).

III-4 La croissance du pin d'Alep en relation avec le relief :**III-4-1 L'altitude :**

Les zones de hautes altitudes (au-delà de 500-700 m) sont limitantes pour le développement du pin d'Alep en raison des températures basses, une neige importante, des vents violents et fréquents (**BROCHEIRO, 1997 ; RIPPERT et VENNETIER, 2001**). Nos stations d'étude sont toutes situées à des zones d'altitude comprises 1109 et 1287m. De ce fait, il ne peut être cité comme facteur limitant dans notre cas d'étude.

III-4-2 La pente :

Les fortes pentes (27 % et plus) sont défavorables (**BOISSEAU, 1996 ; BROCHEIRO, 1997**). Elles expriment sous une autre forme une faible rétention en eau du sol, et l'érosion se traduisant par des sols superficiels. Nos stations d'étude sont toutes situées sur des pentes ne dépassant pas 10%. La pente n'est pas un facteur limitant pour nos reboisements.

III-4-3 L'exposition :

Les expositions Nord-Ouest et Nord-est semblent les plus favorables, au contraire les autres expositions sont défavorables. **BROCHEIRO (1997)**, a signalé que les expositions

neutres et intermédiaires sont favorables, au contraire les expositions très chaudes sont défavorables.

IV-L'analyse en composantes principales :

Traiter l'ensemble des variables par une analyse en composantes principales (A.C.P) afin d'individualiser les différentes placettes par l'ensemble des variables étudiées. Cette méthode qui est principalement descriptive traite donc la fertilité des stations en fonction des caractéristiques de chaque placette (à savoir l'exposition, l'altitude, le sol, etc...). elle consiste à présenter sous forme de graphique les informations d'un tableau.

La caractérisation des composantes principales est réalisée essentiellement sur la part de l'information exprimée par la variance maximale sur les principaux axes, c'est à dire le pourcentage de la variance expliqué par les axes en valeurs propres.

La figure N°38 représente la projection des points correspondants aux différentes placettes dans le premier plan principal : F1 – F2 ; ils expliquent 89,09% reflète donc la quasi-totalité de l'information. L'axe F1 explique à lui seul 74,15%.

Nous constatons que les variables supplémentaires qui ne présentent aucune liaison particulière sont : l'indice de stabilité (SI), le rapport C/N, le carbone, la CEC, la matière organique (MO), l'exposition et la pente. Alors que les variables actives sont la densité (N/ha) qui exprime mieux une étroite liaison négative avec la fertilité des stations ; le facteur d'espacement (S%) qui est négativement lié à l'axe 1 ; le diamètre du houppier (Dh), le diamètre moyen (dg) et l'espacement moyen (a) sont négativement liés à l'axe 1 et l'axe 2 ; le site index (SI), la hauteur dominante (ho), la hauteur moyenne (hg), le volume à l'hectare (V/ha), le facteur d'élancement (h/d) et la surface terrière moyenne (G/ha) sont négativement liés à l'axe 2. Cela confirme que plus la densité augmente, les autres paramètres dendrométriques sont plus faibles.

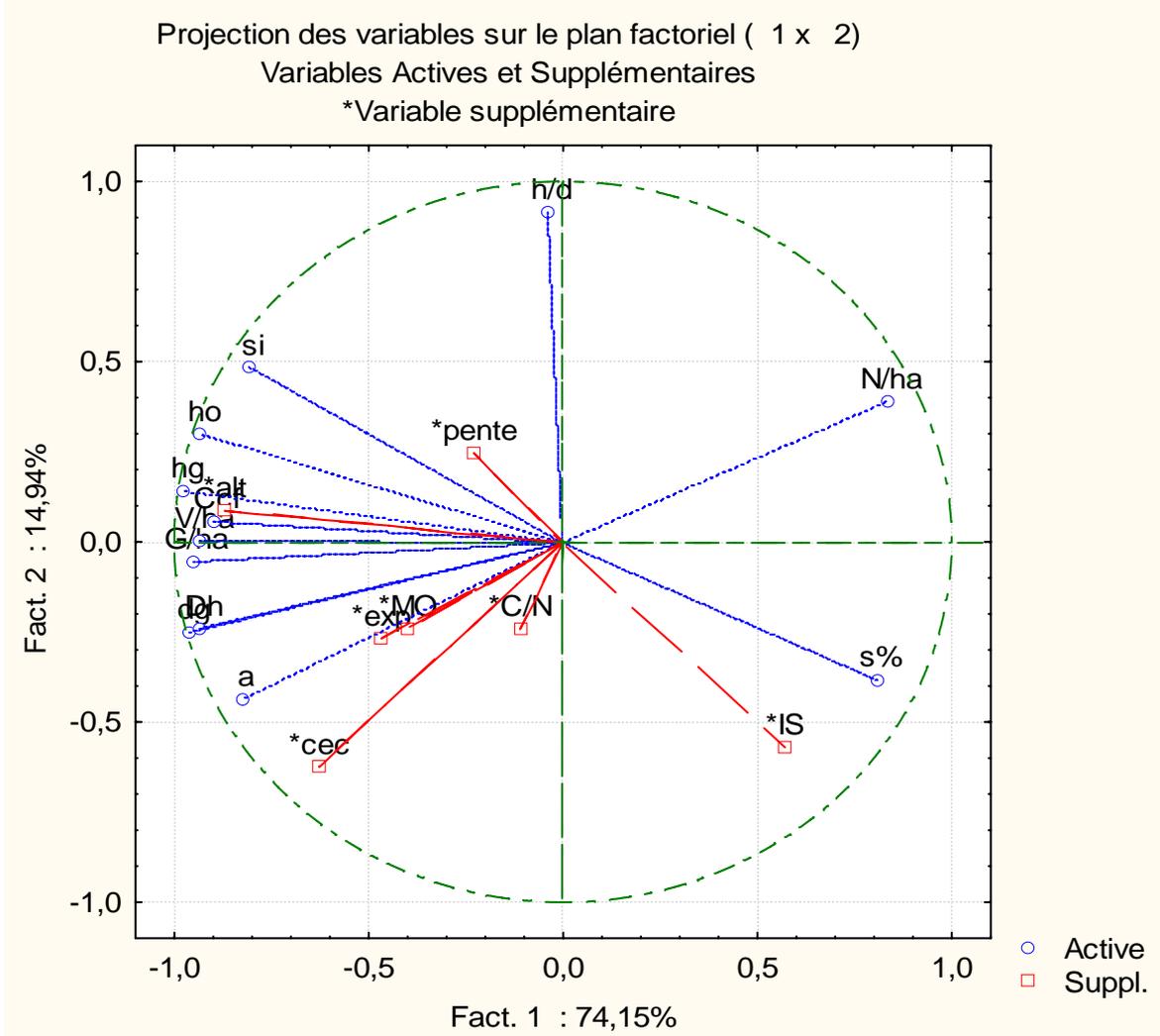


Fig. N°38: Projection des variables sur les plans factoriels

Les différentes placettes sont réparties en deux groupes (I et II), d'autres intermédiaires qui ne sont pas classées dans les groupes homogènes ayant des caractères différents comme le présente la figure ci-dessous.

Groupe I : se situant à gauche de l'axe 1, formé des placettes 1, 2, 3, 4, 7, 8, 9 et 10 de la station *Djebel Bouarif* représentant la classe I la plus fertile (SI= 9m). Ce groupe a un âge de 45 ans se caractérisant par des expositions Nord, Est et Nord-Ouest ; avec une altitude de 1287m ; la pente varie entre 6% à 10% ; la densité est faible entre 240 à 660 plants par hectare a favorisé la croissance des tiges et a donné les meilleures valeurs des autres paramètres (dg : 26,3-38,4 cm ; hg : 9,6-14,55 m, hdom : 10,1-14,65 m; G/ha : 20,6-33,1 m²/ha et a : 4,81-6,94 m). La structure du sol est grumeleuse (présence d'humidité et d'aération) créant un milieu favorable au bon développement du peuplement.

Groupe II : se situant à droite de l'axe 1, regroupe les peuplements peu productifs de la classe III (SI=3m) (la classe médiocre) des placettes de *Benboulaid* et *Garouaou*, l'âge est respectivement 24 et 32 ans. L'exposition varie du Sud, Sud-est, Sud-ouest, Nord et Nord-est avec une altitude 1109-1150 m et une pente entre 2 et 15%. Ce groupe représente les plus faibles valeurs des paramètres dendrométriques (dg : 3,5-9,6 cm ; hg : 1,8-3,8 m ; hdom : 1,88-4,32 m ; G/ha : 0,9-8,6 m²/ha ; a= 2,85-3,54 m) à cause de la forte densité qui est comprise entre 940 et 1420 plants par hectare. La structure du sol est polyédrique à particulaire moins favorable (porosité faible), sol à texture argileuse rendant le milieu asphyxiant en période pluvieuse, ce qui rend le milieu défavorable.

Les autres placettes ont une répartition intermédiaire présentant la classe modérée sont celles de *Bouadloune*, *Berriche* et placettes 5, 6 de la station *Djebel Bouarif*.

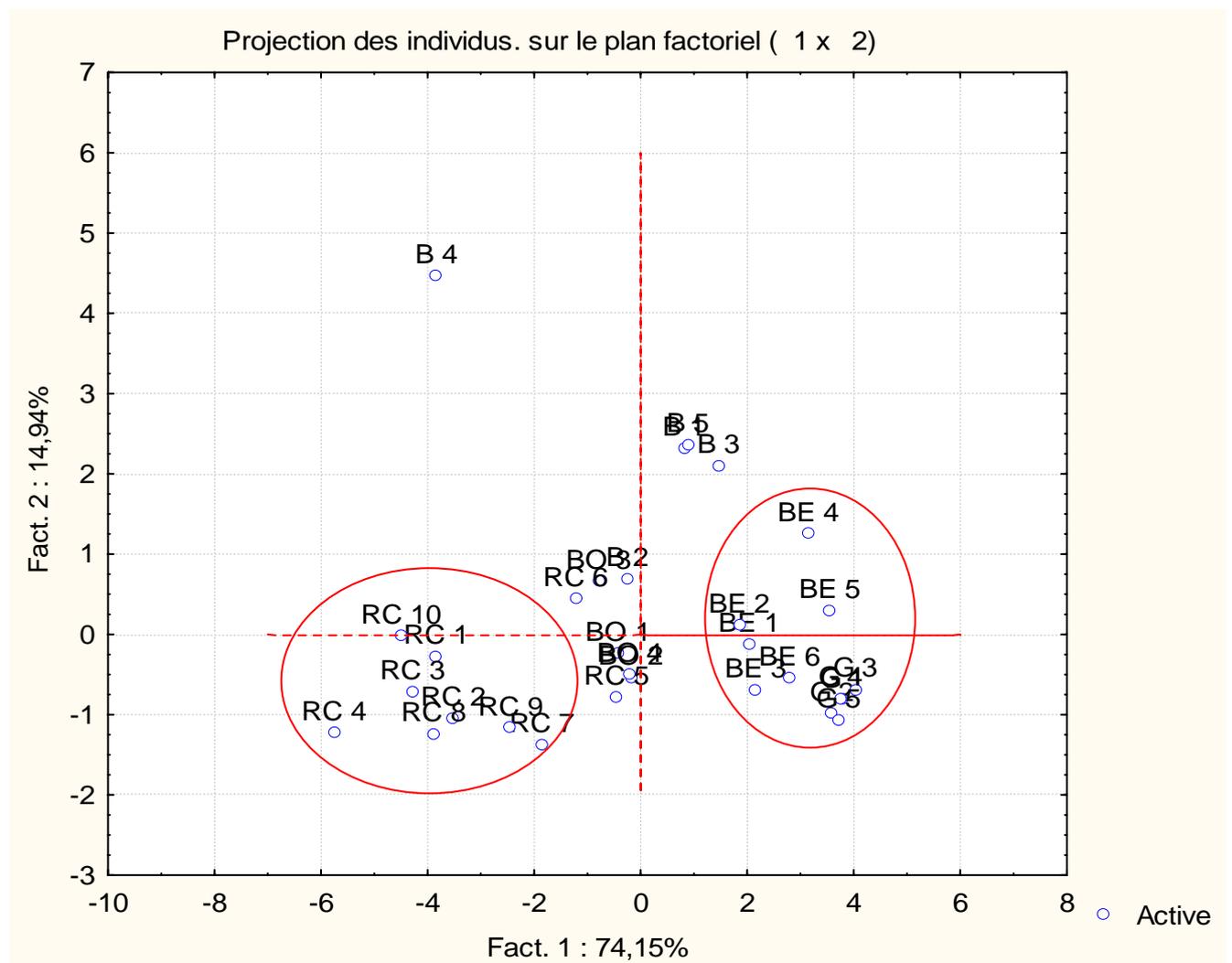


Fig. N°39: projection des individus sur le plan factoriel

L'avantage de cette analyse, nous a permis de réunir dans un ensemble les placettes qui présentent les mêmes affinités. Ainsi les placettes caractérisées par une faible densité, représentent un espacement moyen important qui permet aux plants de se développer sans concurrence en eau et éléments nutritifs, alors que les placettes avec une forte densité et avec un espacement court obligent les racines de plusieurs pieds de pin d'Alep à se nourrir en eau et éléments minéraux dans une zone d'exploitation racinaire limitée (grande concurrence) ralentissant le développement du peuplement. Sans oublier qu'il y a une différenciation au niveau du sol, celles qui possèdent les meilleures propriétés physiques et chimiques ont une croissance meilleure.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail était d'étudier l'effet de la densité sur la croissance du peuplement du pin d'Alep, la présentation d'un modèle de croissance en hauteur dominante et l'autécologie du pin d'Alep.

Plusieurs aspects sont relevés dans cette étude :

Il ya d'abord une nette différence des structures rencontrées. Les peuplements sont d'âge moyen avec une très faible proportion de gros diamètres supérieurs à 30 centimètres. Un écartement de 4 à 5 mètres entre les arbres semble donner une meilleure performance et bonne vigueur aux peuplements du pin d'Alep. Les paramètres dendrométriques étudiés sont fortement liés à la qualité de la station mais surtout à la densité des arbres. De ce fait, il existe une liaison étroite entre la densité et la fertilité des stations.

Ensuite, l'analyse de tige a permis d'attribuer un indice de fertilité à un âge de référence de 25 ans pour l'ensemble des stations. Trois classes de croissance ont été définies (3m, 6m et 9m). Elles diffèrent l'une de l'autre par le nombre de tige à l'hectare.

Enfin les relations entre les variables du milieu et les paramètres dendrométriques sont très significatives. Les clés autoécologiques détaillent les relations entre les variables du milieu et la croissance du pin d'Alep. Cette croissance dépend essentiellement du bilan hydrique, c'est un élément essentiel d'appréciation de potentialités d'une station. Les propriétés du sol (la profondeur, la texture, la porosité, etc.) joue un très grand rôle dans la croissance du pin d'Alep.

La méthode utilisée ne nécessite que quelques éléments de diagnostic facilement mesurables sur le terrain. Les travaux dans ce domaine montrent l'intérêt d'une description détaillée pour mieux comprendre le comportement des espèces

D'autres paramètres pouvant également jouer un rôle important sur l'échec ou la réussite du reboisement du pin d'Alep telles que

- La provenance des graines qui reste inconnue ;
- La technique d'élevage en pépinière mal maitrisée

- L'absence des travaux du sol tel que le sous-solage pour briser les roches dures, et permettant d'augmenter la réserve en eau du sol et une meilleure exploitation du sol par les racines ;
- Le manque de suivi des plants (entretien, sylviculture).

Nous pensons que les données recueillies sont très intéressantes dans la mesure le travail réalisé a apporté des informations nécessaires à la conduite des reboisements du pin d'Alep.

Références bibliographiques

ABBAS H. (1983) : Les forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* M.) dans le Sud-est méditerranéen français : recherches écologiques, production sylvicole et aménagement. *Dipl. Doct. Ing. En Ecologie*, Univ. des Sci. Tech. St-Jérôme, 123p.

ABBAS H., BARBERO M., LOISEL R. et QUEZEL P. (1985) a : Les forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Analyses écodendrométriques, première partie. *Forêt méditerranéenne* 7 (1) : 35-42.

ABBAS H., BARBERO M., LOISEL R. et QUEZEL P. (1985) b : Les forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Analyses écodendrométriques, deuxième partie. *Forêt méditerranéenne* 7 (2) : 123-130.

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-Jérôme .Marseille .149 p.

ACHERAR M. (1981) : La colonisation des friches par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Miller) dans les basses garrigues du Montpelliérais. Thèse de doctorat, USTL Montpellier, 210 p.

ACHERAR M., LEPART J. et DEBUSSCHE M. (1984) : La colonisation des friches par le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Languedoc méditerranéen. *Oecologia Plantarum* 5 (19) : 179-189.

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*. 239-246.

ANONYME (1979) : La notion d'indice de station. *C.T.G.R.E.F. Informations techniques. Cahier-36, N°04*.

ANONYME (1992) : Techniques de reboisement. Guide pratique. CEMAGREF. Ed. Chapitre 7. *Guide technique du forestier méditerranéen français*.

ANONYME (1996) : Le plan national des reboisements. Direction générale des forêts. 121p.

AUSSENAC G. et VALETTE J. C. (1982) : Comportement hydrique estival de *Cedrus atlantica* Man., *Quercus ilex* L., *Quercus pubescens* Willd. et de divers pins dans le Mont Ventoux. *Annales des Sciences Forestières*, 39 (1) : 41-62.

BECKER M. (1985). Avantages et limites de l'étude de la végétation spontanée pour la typologie des stations forestières. *Comptes rendus des Séances de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 72, n° 10, pp 875-882.

BECKER M. (1989). The role of climate on present and past vitality of Silver fir forests in the Vosges Mountains of Northeastern France. *Can J For Res* 19, 1110-1117

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

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

BENTOUATI A. (2006) : Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* M.) du massif de Ouled Yagoub (Khenchela-Aurès). Thèse de doctorat d'état en sciences Agronomiques. Université Colonel El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie. 119 p.

BENTOUATI A. et BARITEAU M. (2006) : Une sylviculture pour le pin d'Alep des Aurès (Algérie). *Forêt méditerranéenne*, XXVI n°4, 315-320.

BOISSEAU B. (1996) : Ecologie du pin pignon et du pin brutia : détermination d'un indice de fertilité fonction du milieu. Biologie et forêt. *Rev. For. Fr. XLVII*. 321-335.

BOUDY P. (1952) : Guide du forestier en Afrique du nord. La maison rustique, Paris : 245-258.

BROCHIERO F. (1997) : Ecologie et croissance du pin d'Alep en Provence calcaire. Mémoire de fin d'étude CEMAGRF AIX en Provence, ENREF. 73 p.

CALAMASSI R., FALUSI M. et TOCCI A. (1984) ; Effet de la température et de la stratification sur la germination des semences de *Pinus halepensis* Mill. *Silvae genetica* 33 (4-5) : 133-139.

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

COPPENET M. et JUSTE C. (1979) : Oligoéléments indispensables à la vie des plantes, phénomènes de toxicité, 408-415.

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.

DANCAUSE A, 2004. Le reboisement des forêts publiques: une réflexion et des actions s'imposent. Mémoire présenté à la commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise.

DAGET P. (1977) : Le bioclimat méditerranéen : caractères généraux, modes de caractérisation. *Végétatio Vol 34. 1* : 120.

DEL CAMPO A. D; NAVARRO CERRILO R. M; HERMOSO J et IBANEZ A. J. (2007). Relationships between site and stock quality in *Pinus halepensis* Mill. Reforestation on semiarid landscapes in eastern Spain. *Ann. For. Sci. 64*: 719–731.

DELPECH R., DUMÉ G. et GALMICHE P. (1985) : Typologie des stations forestières, vocabulaire. Paris : Ministère de l' Agriculture, Institut pour le Développement forestier. 243p.

DUBOURDIEU J. (1997) : Manuel d'aménagement forestier. Technique et documentation-LAVOISIER. p13.

EMBERGER L.1939 ;

Aperçue générale sur la végétation du Maroc veroff geobotrudel, Inst Zurich pp 14-40.

FRANCELET A. (1970) : Stimulation de l'ouverture des cônes de pins. Institut National de Recherches Forestières Tunisien, *Note technique 13* : 2-3.

HOFF C. et RAMBAL S. (2000). Les écosystèmes forestiers méditerranéens face aux changements climatiques. Dans : Impacts potentiels du changement climatique en France au

XXI^e siècle, Mission Interministérielle de l'Effet de Serre & Ministère de l'aménagement du Territoire et de l'Environnement, Paris, p. 88-98.

HOUEDOUGBE FONTON N ; KAKAI G. R et RONDEUX J. (2002) : Etude dendrométrique d'*Acacia auriculiformis* A. Cunn. Ex Benth. En mélange sur vertisol au Bénin. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 6 (1), 29-37.

INCLA N. R. GIMENO B.S. DIZENGREMEL P. et SANCHEZ M. (2005): Compensation processes of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) to ozone exposure and drought stress. *Environmental Pollution* 137 : 517-524.

KADIK B. (1987) : Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en Algérie : Ecologie, Dendrométrie, Morphologie. Office des publications universitaires (Alger) . 585p.

LEUTRECH BELAROUCI. N. (1991) : Les reboisements en Algérie et leurs perspectives d'avenir, vol 1 et 2. 641p.

LOISEL R. (1976) : Place et rôle des espèces du genre *Pinus* dans la végétation du sud-est méditerranéen français. *Ecologia Mediterranea* 2 : 131-152.

LOZET J. et MATHIEU C., 1990: Dictionnaire de science de du sol. Tec et doc, paris, 324p.

MADOUÏ A. (2003) : La forêt algérienne, n° 11, octobre 2003, p 4-5.

MAESTRE F. T. et CORTINA J (2004) : Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean areas. *Forest Ecology and Management* 198 : 303–317.

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. Econ. Et Sci. d'Aix-Marseille, 436p.

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.

MUGNOZZA S. (1986) : Recherche sur l'écophysio­logie de *Pinus halepensis* Mill. Dans : Séminaire sur le pin d'Alep et le pin brutia dans la sylviculture méditerranéenne, Tunis, 15-19 avril 1985, 340 p.

NAHAL I. (1962) : Le pin d'Alep. Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts 19 (4):* 533-627.

NICAULT A., RATHGEBER C., TESSIER L. et THOMAS A. (2001) : Croissance radiale et densité du bois du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en relation avec les facteurs climatiques. Analyse in situ de la mise en place du cerne. *Annals of Forest Sciences 58:* 769-784.

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

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.

QUEZEL P. (1980) : Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. Dans : Actualités d'Ecologie Forestière (éd. : PESSON), *édition Gauthier Villars, Paris,* pp. 205-256

QUEZEL P. (1986) : Les pins du groupe "Halepensis" Ecologie, Végétation, Ecolphysiologie. *CIHEAM- Options Méditerranéennes.* pp. 11-23.

QUEZEL P; BARBERO M. et BENABID A. (1987): Contribution à l'étude des groupements forestiers du Haut Atlas oriental (Maroc). *Ecologia Mediterranea XIII (1/2) :* 107-117.

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.

RATHGEBER C. (2002) : Impact des changements climatiques et de l'augmentation du taux de CO₂ atmosphérique sur la productivité des écosystèmes forestiers : exemple du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en Provence calcaire (France). Thèse doct.

RATHGEBER C., BLANC L., RIPERT C., VENNETIER M. et NICAULT A. (2002) : Modélisation de la croissance en hauteur du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) en région méditerranéenne française.

RIPERT C. et VENNETIER M. (2001) : Croissance et écologie du pin d'Alep en France. CEMAGREF. Division agriculture. Groupement d'Aix en Provence. Le Tholonet-BP 31. 38p.

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

SEIGUE A (1985) : La forêt circum méditerranéenne 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.

SERRE-BACHET F. (1973) : Contribution à l'étude dendroclimatologique du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, France, 236 p

SERRE-BACHET F. (1976) a : Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.). I - Méthodes utilisées. L'activité cambiale et le climat. *Acta Oecologica / Oecologica plantarum* 2 (2) : 143-171.

SERRE-BACHET F. (1976) b : Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'alep (*Pinus halepensis* Mill.). II – L'allongement des pousses et des aiguilles et le climat. Discussion générale. *Acta Oecologica / Oecologica plantarum* 2 (3) : 201-224

SIMOÏN. et NAVARRETE E. (1990) : Restauracion de la vegetacion en cuencas mediterraneas: repoblaciones en zonas aridas. *Ecologia* 1, 401–427.

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

TIMBAL J. (1984) : Recommandations pour la présentation des catalogues de stations forestières. Paris : Ministère de l'Agriculture. Direction des Forêts. 41 p.

VENNETIER M., RIPERT C., BROCHIERO F. et CHANDIOUX O. (1999) : Evolution á court et long terme de la croissance du pin d'Alep en Provence - conséquences sur la production de bois. *Division Agriculture et Forêt Méditerranéenne basse au Tholonet, N°XX-4*.

ANNEXES I

Annexe I.1 : Moyennes mensuelles et annuelles des précipitations en mm (1979 - 2009)

d'après la station météo de Batna

Mois	Précipitations en mm
JAN	34,4
FEV	26,3
MAR	36,9
AVR	40,2
MAI	36,6
JUI	21,5
JUL	8,7
AOU	13,9
SEP	43,6
OCT	29,3
NOV	33,6
DEC	37,7

Annexe I.2 : Moyennes mensuelles et annuelles des températures (1979 - 2009) d'après la station météo de Batna

Mois	Températures en °C
JAN	5,6
FEV	6,8
MAR	9,7
AVR	12,6
MAI	17,8
JUI	23,2
JUL	26,5
AOU	26,1
SEP	21
OCT	16,4
NOV	10,3
DEC	6,9

**Annexe I.3 : Températures minimales et maximales (1979 - 2009) d'après la station météo de
Batna**

Mois	Min (m)	Max (M)	M+m/2 °C	A (M-m)
J	0,4	11,4	5,9	11
F	1,1	13	7,05	11,9
M	3	16,3	9,65	13,3
A	5,8	19,5	12,65	13,7
M	9,9	24,7	17,3	14,8
J	15,1	30	22,55	14,9
Jt	17,1	34,2	25,65	17,1
A	17,6	33,4	25,5	15,8
S	13,9	27,5	20,7	13,6
O	9,4	23	16,2	13,6
N	4,8	15,9	10,35	11,1
D	1,8	11,4	6,6	9,6

ANNEXE II

Annexe II.1 : fiche d'inventaire

Commune :

Date :

Station :

Altitude :

Placette N :

Pente :

Surface :

Exposition :

Affleurement rocheux :

essence: pin d'Alep

Arbre N	D _{1,3} (cm)	H _{dom} (m)	Arbre N	D _{1,3} (cm)	H _{dom} (m)
1			26		
2			27		
3			28		
4			29		
5			30		
6			31		
7			32		
8			33		
9			34		
10			35		
11			36		
12			37		
13			38		
14			39		
15			40		
16			41		
17			42		
18			43		
19			44		
20			45		
21			46		
22			47		
23			48		
24			49		
25			50		

Annexe II.2: Mesures dendrométriques

N°	âge	hdom	dm	dg	d0,5	hg	n	N/ha	G/ha	v2	AMV	a
BO 1	46	8,7	16,3	16,7	12,45	7,20	33	660	14,5	57,82	1,26	4,18
BO 2	46	7,77	16,0	16,6	11,68	6,97	31	620	13,4	46,28	1,01	4,32
BO 3	46	9,66	16,2	16,6	12,48	9,50	34	680	14,8	78,98	1,72	4,12
BO 4	46	7,78	15,9	16,5	10,62	7,00	32	640	13,7	39,66	0,86	4,25
BE 1	22	3,94	8,9	9,3	8,5	3,80	50	1000	6,9	21,55	0,98	3,40
BE 2	22	4,32	9,0	9,6	5,2	3,80	59	1180	8,6	9,52	0,43	3,13
BE 3	22	3,69	8,9	9,4	9,5	3,00	49	980	6,8	20,83	0,95	3,43
BE 4	22	2,95	3,1	3,5	3,9	2,75	46	920	0,9	3,02	0,14	3,54
B 1	36	8,35	9,0	10,1	7,5	7,46	57	1140	9,1	37,55	1,04	3,18
B 2	36	9,1	13,0	14,3	8,6	7,90	36	720	11,6	33,02	0,92	4,00
B 3	36	7,41	7,8	8,9	6,3	5,89	70	1400	8,7	25,69	0,71	2,87
B 4	36	22,8	13,7	17,5	12,5	15,00	42	840	20,3	154,55	4,29	3,71
B 5	36	8	8,9	10,0	7,5	7,50	59	1180	9,2	39,08	1,09	3,13
RC 1	46	13,22	28,3	29,2	16,2	12,75	23	460	30,7	120,83	2,63	5,01
RC 2	46	11,83	26,8	27,8	20,2	9,76	23	460	28,0	143,81	3,13	5,01
RC 3	46	14,65	29,5	31,8	20,5	14,55	14	280	22,3	134,40	2,92	6,42
RC 4	46	15,24	38,2	38,4	26,5	16	12	240	27,8	211,69	4,60	6,94
RC 5	46	8,24	15,8	16,1	12,1	8,31	18	360	7,3	34,38	0,75	5,66
RC 6	46	10,1	16,3	17,3	12,5	9,5	33	660	15,6	76,91	1,67	4,18
RC 7	46	10,12	21,8	23,7	14	9,6	16	320	14,1	47,27	1,03	6,01
RC 8	46	13,92	30,0	32,2	21,5	12	14	280	22,8	121,92	2,65	6,42
RC 9	46	11,06	23,6	26,3	21	10	19	380	20,6	131,55	2,86	5,51
RC 10	46	13,98	28,1	29,0	20	13	25	500	33,1	204,10	4,44	4,81
G 1	31	2,06	5,0	5,2		2,1	56	1120	2,4			3,21
G 2	31	2,2	5,4	5,5		2,3	47	940	2,3			3,50
G 3	31	1,88	4,6	4,8		1,8	70	1400	2,6			2,87
G 4	31	2,15	4,9	5,0		1,9	60	1200	2,4			3,10
G 5	31	2,1	5,0	5,2		2	51	1020	2,1			3,36
BE 5	22	2,42	4,9	5,0		2,4	71	1420	2,7			2,85
BE 6	22	3,14	6,4	6,8		2,5	52	1040	3,7			3,33

Suite á l'annexe II.2

N°	cônes %	Dd	MCA	ccf	s%	h/d	Hh	Dh	penne	exposition
BO 1	40,00	2,66	15,69	103,6	48,08	0,43	3,60	4,22	10%	Nord Est
BO 2	40,00	5,29	15,48	95,98	55,54	0,42	4,72	4,34	7%	Nord Est
BO 3	45,00	2,66	13,84	94,12	42,66	0,57	4,40	4,31	7%	Nord Est
BO 4	50,00	4,39	15,29	97,87	54,60	0,42	4,90	4,75	7%	Nord Est
BE 1	10,00	2,23	6,561	65,61	86,25	0,41	1,70	2,19	14%	Sud Est
BE 2	5,00	2,32	6,763	79,8	72,41	0,39	2,50	3,16	15%	Sud Ouest
BE 3	20,00	2,16	6,601	64,69	93,03	0,32	1,20	2,32	13%	Sud Est
BE 4	3,00	2,64	2,088	19,21	120,10	0,78	1,30	2,22	13%	Sud
B 1	50,00	2,82	7,085	80,77	38,12	0,74	3,59	3,07	10%	Nord
B 2	20,00	3,30	12,02	86,55	44,01	0,55	4,40	4,69	10%	Est
B 3	20-30	2,08	5,935	83,09	38,76	0,66	4,00	2,83	5%	Nord Est
B 4	60-70	2,60	15,91	133,7	16,26	0,85	7,30	4,33	10%	Nord Est
B 5	40,00	2,80	6,994	82,53	39,10	0,75	4,00	3,03	10%	Nord
RC 1	70,00	3,84	39,75	182,9	37,90	0,44	5,27	6,21	10%	Nord Ouest
RC 2	80,00	3,47	36,58	168,3	42,35	0,35	3,25	7,73	10%	Nord Ouest
RC 3	30-40	4,54	45,89	128,5	43,84	0,46	4,85	7,63	15%	Nord Ouest
RC 4	45,00	4,94	65,08	156,2	45,51	0,42	8,50	9,00	10%	Nord Ouest
RC 5	45,00	5,34	14,81	53,31	68,73	0,52	4,45	5,98	7%	Ouest
RC 6	30,00	3,90	16,44	108,5	41,41	0,55	4,50	5,81	5%	Ouest
RC 7	60,00	5,44	27,45	87,83	59,36	0,41	4,60	7,14	6%	Nord
RC 8	45,00	4,50	46,96	131,5	46,13	0,37	4,00	7,02	6%	Est
RC 9	55,00	4,54	19,39	73,69	49,84	0,38	4,00	6,56	7%	Nord Ouest
RC 10	72,00	3,87	39,45	197,2	34,38	0,45	5,50	6,38	10%	Nord Ouest
G 1	2	2,72	3,188	35,71	155,87	0,41	1,2	1,53	5%	Nord
G 2	20-30	4,15	3,443	32,36	159,31	0,42	1,3	1,44	2%	Nord
G 3	2	3,35	2,948	41,27	152,76	0,37	1,1	1,87	5%	Nord
G 4	3	2,67	3,091	37,09	144,28	0,38	1,1	1,88	3%	Nord Est
G 5	4	2,77	3,173	32,36	160,22	0,39	1,2	1,67	5%	Nord Est
BE 5	10	2,78	3,248	46,12	117,84	0,48	complet	2	13%	Sud Ouest
BE 6	10	3,51	4,306	44,78	106,12	0,37	complet	2,42	3%	Sud

ANNEXE III

Annexe III.1 : Annexe : Fiche d'analyse de tige

Commune :

Date :

Station :

Altitude :

Placette N :

Pente :

Essence : pin d'Alep

Exposition :

Arbre le plus gros de la placette N°

Niveau	Hauteur (m)	Diamètre (cm)	Nombre de cerne	Age
Souche				
1 ^{ère} découpe				
2 ^{ème} découpe				
3 ^{ème} découpe				
4 ^{ème} découpe				
5 ^{ème} découpe				
6 ^{ème} découpe				
7 ^{ème} découpe				

Annexe III.2: Reconstitution de la hauteur des arbres.

Age (an)	Hauteur (m)				
	Arbre 1	Arbre 2	Arbre 3	Arbre 4	Arbre 5
0	0	0	0	0	0
5	0,70	0,44	0,50	0,30	0,22
10	1,97	1,16	1,40	0,61	0,59
15	3,30	2,30	1,90	1,13	1,05
20	4,13	3,90	2,41	1,95	1,68
25	5,70	4,90	2,97	2,17	2,30
30	6,38	6,30	3,52	2,26	
35	6,59	6,88	3,60		
40	6,79				
45	7,00				
Age (an)	45	36	35	32	25
hauteur (m)	7	7	3,6	2,3	2,3

Annexe III.3: Reconstitution des diamètres des arbres.

Age (an)	Diamètres (cm)				
	Arbre 1	Arbre 2	Arbre 3	Arbre 4	Arbre 5
0	0	0	0	0	0
10	3,432	2,168	5,28	0,99	2,442
20	5,908	6,532	8,096	3,83	
30	10,964	11,07	12,392		
40	17,96				
Age (an)	45	35	36	32	25

ANNEXE IV

Annexe IV.1: fiche de description de profil

Localisation :

Commune :

Foret ou lieu dit :

Parcelle :

N^o du profil : coordonnées : X Y Z

TOPOGRAPHIE :

Situation dans le paysage :

Altitude : Pente en % : Exposition :

Erosion :

Drainage :

Pierrosité :

Affleurements rocheux

Charge caillouteuse de surface :

Roche-mère :

Végétation :

Formation végétale :

Essences principales :

Espèces dominantes :

Utilisation :

Autres observations :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Résumé:

L'étude de la typologie des stations forestières vise la connaissance du milieu afin d'expliquer et de prévoir ses potentialités. Cette étude autoécologique a pour objectif de tirer le maximum d'informations sur les relations qui existent entre le pin d'Alep et les variables du milieu.

L'expérimentation a porté sur 5 stations géographiquement distinctes et variables du point de vue conditions écologiques, totalisant 30 placettes. Un modèle de croissance en hauteur est établi. 3 classes de fertilité (3, 6 et 9 m), sont déterminées.

Les résultats obtenus ont montré que :

- Les reboisements en pin d'Alep des différentes stations présentent un rythme de croissance relativement faible pour l'ensemble des paramètres dendrométriques ;
- La densité joue un rôle important sur la croissance du peuplement et l'écartement de 4 à 5 mètres entre les arbres semble donner une meilleure croissance
- Les propriétés du sol, surtout physiques (bilan hydrique, texture, etc.), influent d'une manière significative sur la vigueur des peuplements du pin d'Alep.

Mots clés :

Pinus halepensis, Reboisement, Typologie, modèle de croissance, classes de fertilité.

ملخص

دراسة تصنيف المحطات تهدف إلى معرفة الوسط لشرح وتقديم إمكاناتها.

دراسة البيئة الذاتية يهدف إلى استخلاص أقصى المعلومات عن العلاقات الموجودة بين الصنوبر الحلبي ومتغيرات البيئة.

التجربة تمت على مستوى 5 محطات مختلفة جغرافيا في المجموع 30 بقعة. تم إنشاء نموذج الارتفاع وقد تحصلنا على 3 فئات الخصوبة (3، 6، و 9م).

النتائج المحصل عليها أظهرت أن:

- التشجير بالصنوبر الحلبي على مختلف المحطات يمثل معدل نمو ضعيف بالنسبة للقياسات الحراجية،
- الكثافة تلعب دورا مهما على نمو المجموعة وابتعد المتوسط بين 4 و 5م بين الاشجار يعتبر الأنسب،
- خصائص التربة وخاصة الفيزيائية تؤثر بصفة كبيرة على نمو الصنوبر الحلبي.

الكلمات الرئيسية

الصنوبر الحلبي، التشجير، تصنيف، نموذج الارتفاع، فئات الخصوبة.