

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

UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID-TLEMCCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de
l'Univers



Département des ressources forestières



THESE DE DOCTORAT

Thème :

*« Etude de la productivité du thuya de berbérie (*Tetraclinis articulata* (VAHL) Masters) dans l'ouest Algérien dans la perspective de développement durable »*

Présentée par : **HADJADJ Kouider**

Devant la commission d'examen :

Président :	Mr BERRICHI Mohamed.	MCA Université de Tlemcen
Examineurs :	Mr BENABDELI Khéloufi	Pr. Université de Mascara
	Mr HADDAD Ahmed	MCA. Université de Mostaganem
	Mm SOUIDI Zahira	MCA. Université de Mascara
	Mr MEDJAHDI Boumediene	MCA. Université de Tlemcen
Directeur de Thèse :	Mm. LETREUCH-BELAROUCI Assia	MCA. Université de Tlemcen

2016/2017

REMERCIEMENTS

J'adresse mes plus vifs remerciements à Mr **LETREUCH BELAROUCI NOURREDINE** Professeur en foresterie à l'université de Tlemcen pour m'avoir guidé encouragé et orienté dans le domaine des sciences forestières tout au long de mon parcours universitaire.

Je dois également remercier Madame **MEDJAHDI ASSIA**, Maître de conférences en foresterie à l'université de Tlemcen pour son suivi de très près de tout le travail de thèse.

Je remercie monsieur **BERRICHI Mohamed**, Maître de conférences en foresterie à l'université de Tlemcen de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Je voudrais également remercier monsieur **BENABDELI KHELOUFI**, Professeur à l'universitaire de Mascara, monsieur **HADDAD Ahmed**, Maître de conférences à l'université de Mostaganem, monsieur **MEDJAHDI Boumediene**, Maître de conférences en foresterie à l'université de Tlemcen et **SOUIDI Zahira**, Maître de conférences à l'université de Mascara qui ont bien voulu examiner ce travail.

Mes professeurs de foresterie qui doivent voir dans ce travail la fierté d'un savoir bien acquis.

Je tiens à remercier monsieur **BENTOUATI Abedallah**, professeur en foresterie à l'université de Batna, et monsieur **KHELAF Rabhi**, Maître de conférences en foresterie à l'université de Batna pour ces précieuses orientations dans la partie modélisation.

J'exprime mes sincères gratitude à tous les cadres de la conservation des forêts des wilayas de Tlemcen et de Naâma.

DEDICACE

Je dédie cette thèse de Doctorat à :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

Mes frères et sœurs qui n'ont cessé d'être pour moi des exemples de persévérance, de courage et de générosité.

Ma femme et à ma petite fille « Rahaf » qui ont supporté ces moments difficiles et qui continuent à m'apporter tout le soutien nécessaire.

Mes amis de travail et d'études qui ont été toujours présents durant la préparation de ce travail.

A tous ceux qui, par un mot, m'ont donné la force de continuer

Sommaire

Introduction générale	1
------------------------------------	---

Chapitre 1 : Présentation du thuya de berbérie

1.1. Historique	6
1.2. Caractères botaniques	8
1.3. Aire de répartition	10
1.4. Ecologie du thuya	13
1.4.1 Conditions climatiques	13
1.4.2 Conditions lithologiques	14
1.4.3 Altitude	14
1.5. Régénération du thuya	14
1.6. Sylviculture du thuya	16
1.6.1 Types de peuplements	16
1.6.2 Opérations sylvicoles	17
1.6.2.1 Traitement en taillis simple	17
1.6.2.2 Traitement en taillis sous futaie	18
1.6.3 Autres types de peuplements	19
1.7. Les associations du thuya	19
1.8. Facteurs de dégradation du thuya	20
1.9. Productivité du thuya	23
1.9.1 Accroissement en hauteur	23
1.9.2 Accroissement en diamètre.....	24
1.9.3 Accroissement en volume.....	24
1.10. Importance économique du thuya	25

Chapitre 2 : Estimation de la productivité forestière

2.1 Introduction	27
2.2 Notion de productivité	27
2.3 Objectifs d'estimation de la productivité	28
2.3.1 Aménagement forestier	28
2.3.1 Recherches sylvicoles	29
2.3.3 Recherche écologique et gestion de l'environnement	29
2.4 Appréciation de la productivité	30
2.5 Méthodes quantitatives d'estimation de la productivité	30
2.5.1 Méthodes d'estimation directes de la productivité	31
2.5.1.1 Productivité basée sur le volume	31
2.5.1.2 Productivité basée sur l'accroissement moyen annuel total en volume	31
2.5.1.3 Accroissement périodique en volume	31
2.5.2 Méthodes d'estimation indirectes de la productivité	31
2.5.2.1 Utilisation de la hauteur dominante comme indicatrice de fertilité	32
2.5.2.2 Relation entre la hauteur et la production totale	32

2.5.3	Méthodes d'estimation mixtes de la productivité	32
2.6	Construction d'un faisceau de courbe de fertilité	33
2.6.1	Méthodes graphiques	33
2.6.2	Méthodes statistiques	35
2.7	Modélisation de la croissance et de la productivité	35
2.8	Objectifs de la modélisation	37
2.9	Relation modélisation - dynamique des peuplements	37

Chapitre 3 : Présentation de la zone d'étude

3.1	Introduction	40
3.2	Situation géographique de la zone d'étude	40
3.3	Présentation de la région de Honaine	41
3.3.1	Géologie et lithologie	42
3.3.1.1	Les formations carbonatées	43
3.3.1.2	Les formations non carbonatées	44
3.3.1.3	Les formations volcaniques	44
3.3.1.4	Les formations quaternaires	45
3.3.2	Cadre édaphique	45
3.3.2.1	Les sols rubéfiés	46
3.3.2.2	Les accumulations calcaires	46
3.3.2.3	Les autres types de sols	47
3.3.3	Hydrographie	48
3.3.4	Milieu socioéconomique	49
3.3.4.1	Population	50
3.3.4.1.1	Evolution de la population	50
3.3.4.1.2	Répartition de la population	50
3.3.4.2	L'agriculture	50
3.3.4.2.1	L'occupation du sol	50
3.3.4.2.2	Production végétale	51
3.3.4.2.3	La pêche	53
3.3.4.2.4	L'élevage	53
3.3.5	Milieu forestier	53
3.3.6	Les équipements et les infrastructures forestières	56
3.3.6.1	Les pistes forestières	56
3.3.6.2	Les tranchés pare feu (TPF)	56
3.3.6.3	Les postes de vigie	57
3.3.6.4	Les points d'eau	57
3.3.7	Les incendies de forêts	57
3.4	Présentation de la région d'Ain Ghoraba	58
3.4.1	Relief et topographie	59
3.4.2	Aperçu géologique	59
3.4.3	Aperçu pédologique	63
3.4.4	Aperçu hydrographique	65

3.4.5 Milieu socioéconomique	66
3.4.5.1 Population	66
3.4.5.1.1 Evaluation de la population	66
3.4.5.2 Elevage	67
3.4.5.3 L'agriculture	67
3.4.5.3.1 Occupation des terres	67
3.4.5.3.2 Production végétale	68
3.4.6 Milieu forestier	68
3.4.7 Les équipements et les infrastructures forestières	70
3.4.7.1 Les pistes forestières	70
3.4.7.2 Les tranchés pare feu (TPF)	70
3.4.7.3 Les postes vigie	70
3.4.7.4 Les points d'eau	71
3.4.8. Les incendies de forêts	71
3.5 Bioclimatologie	73
3.5.1. Méthodologie	73
3.5.1.1 Choix de la période et de la durée	73
3.5.2. Paramètres climatiques	75
3.5.2.1 Précipitations	75
3.5.2.1.1 Les régimes pluviométriques	75
3.5.2.2 Températures	78
3.5.2.2.1 Températures moyennes mensuelles et annuelles	78
3.5.3. Synthèse climatiques	80
3.5.3.1 Amplitude thermique moyenne et indice de continentalité	80
3.5.3.2 Indice de sécheresse estivale	81
3.5.3.3 Indice d'aridité DE MARTONNE (1926)	81
3.5.3.4 Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (1953).....	82
3.5.3.5 Le quotient pluviothermique d'EMBERGER (1952)	84
3.6 Conclusion	87

Chapitre 4 : Matériels et méthodes

4.1 Introduction	89
4.2 Méthodologie de travail	90
4.2.1. Assiette des placettes	90
4.2.2. Mesures des caractéristiques stationnelles	91
4.2.3. Mesures des caractéristiques dendrométriques	91
4.2.3.1 Mesure des circonférences des arbres	91
4.2.3.2 Mesure de la hauteur totale	92
4.2.3.3 Mesure de l'âge des arbres dominants	92
4.3 Elaboration des fiches de terrain	92
4.4 Etude des structures	94
4.4.1. La structure diamétrique	94
4.4.2. La structure verticale	94

4.5	Appréciation de la productivité du peuplement étudié	95
4.5.1.	Variables transformées	95
4.5.1.1	Nombre de tiges par hectare (N)	96
4.5.2.2	Diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (D_g)	96
4.5.3.3	Surface terrière du peuplement (G)	96
4.5.4.4	La hauteur moyenne du peuplement (H)	96
4.5.5.5	La hauteur dominante du peuplement (H_{dom})	97
4.5.6.6	Le volume (V)	97
4.6	Relation entre la productivité et les facteurs stationnels	97
4.6.1.	Variables retenues	97
4.6.1.1	Variables topo-climatiques	98
4.6.1.2	Variables édaphiques	98
4.6.2.	Analyse en composantes principales (ACP).....	98
4.7	Modélisation de la croissance et de la productivité	99
4.7.1.	Principe adopté	100
4.7.2.	Choix du modèle de croissance	100
4.7.3.	Qualité de précision du modèle choisi	102
4.8	Etablissement des courbes de fertilité et fixation des niveaux de productivité	103

Chapitre 5 : Résultats et discussions

5.1	La structure diamétrique de la Tétracлинаie	105
5.2	La structure verticale de la Tétracлинаie	112
5.2.1.	Hauteurs moyennes et hauteurs dominantes	112
5.3	Description des placettes d'échantillonnage	113
5.3.1.	Forêt de Honaine	113
5.3.2.	Forêt d'Ain Ghoraba	115
5.4	Appréciation de la productivité du peuplement étudié	116
5.4.1.	Relation entre la productivité en volume et les variables dendrométriques ...	119
5.4.1.1	Relation volume/hauteur moyenne	119
5.4.1.2	Relation volume/circonférence moyenne	119
5.4.1.3	Relation volume/nombre de tige/ha	120
5.4.2.	Relation entre la productivité en volume et les facteurs du milieu	121
5.4.2.1	Relation entre la productivité et l'exposition	121
5.4.2.2	Relation entre la productivité en volume et la profondeur du sol	122
5.4.2.3	Relation entre la productivité en volume et l'altitude	122
5.4.2.4	Relation entre la productivité en volume et la pente	123
5.4.3.	Analyse en composantes principales (ACP)	124
5.4.3.1	Matrice de corrélation	125

5.5	Modélisation de la croissance et de la productivité	127
5.5.1.	Qualité et précision des ajustements	127
5.5.1.1	Tests arithmétiques	127
5.5.1.2	Tests graphiques (Analyse des résidus):.....	127
5.5.2.	Etablissement des courbes de fertilité du thuya	129
5.5.3.	Comparaison des résultats obtenus à celles établies dans d'autres sites	132
5.6	Problématique et facteurs influant la gestion et l'aménagement forestier	135
5.6.1.	Recommandations sylvicoles et perspectives de gestion	137
6.	Conclusion générale	142

Références bibliographiques

Annexes

Liste des figures :

Figure 1 : Représentation de l'élément ibéro-mauritanien.	7
Figure 2 : Les différents organes du thuya.	9
Figure 3 : Aire de répartition du thuya de Berbérie en méditerranée Sud-occidentale.	10
Figure 4 : Répartition du thuya de Berbérie dans la région de Tlemcen.	12
Figure 5 : La loupe de thuya	25
Figure 6 : Courbes de fertilité tracées par la méthode graphique	35
Figure 7 : Représentation des tentatives d'intégration et de synthèse des connaissances à travers de la modélisation.....	39
Figure 8 : Situation géographique de la zone d'étude.....	41
Figure 9 : Carte géologique des Monts des Trara	43
Figure 10 : Carte des sols des Monts des Trara	48
Figure 11 : Réseau hydrographique des Monts des Trara.....	49
Figure 12 : Carte d'occupation du sol de la région de Honaine	51
Figure 13 : Représentation en trois dimensions de la zone d'étude.....	59
Figure 14 : Carte géologique des monts de Tlemcen.....	60
Figure 15 : Série litho-stratigraphique type des Monts de Tlemcen	62
Figure 16 : Carte pédologique des monts de Tlemcen.....	64
Figure 17 : Réseau hydrographique des monts de Tlemcen	65
Figure 18 : Carte de végétation des monts de Tlemcen	69
Figure 19 : Moyenne mensuelle des précipitations (station de GHAZAOUET)	75
Figure 20 : Moyenne mensuelle des précipitations (station de ZENATA)	76
Figure 21 : Moyenne mensuelle des précipitations (station de MEFROUCHE)	76
Figure 22 : Moyenne mensuelle des précipitations (station de BENI BAHDEL)	76
Figure 23 : Moyenne mensuelle des températures (station de GHAZAOUET)	78
Figure 24 : Moyenne mensuelle des températures (station de ZENATA)	79
Figure 25 : Moyenne mensuelle des températures (station de MEFROUCHE)	79
Figure 26 : Moyenne mensuelle des températures (station de BENI BAHDEL)	79
Figure 27 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (GHAZAOUET)	82
Figure 28 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (ZENATA)	83
Figure 29 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (MEFROUCHE)	83
Figure 30 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et (BENI BAHDEL)	83
Figure 31 : Climagramme d'EMBERGER pour les stations de référence.....	86
Figure 32 : Représentation des structures diamétriques du thuya (forêt de Honaine)	108
Figure 33 : Représentation des structures diamétriques du thuya (Ain Ghoraba)	110
Figure 34 : Structure générale du peuplement dans la forêt de Honaine	111
Figure 35 : Structure générale du peuplement dans la forêt d'AIN GHORABA	111
Figure 36 : Structure verticale du thuya dans la forêt de Honaine	112
Figure 37 : Structure verticale du thuya dans la forêt d'Ain Ghoraba	113
Figure 38 : Relation volume/ hauteur moyenne du thuya dans la forêt de Honaine	119
Figure 39 : Relation volume/hauteur moyenne du thuya dans la forêt d'Ain Ghoraba... ..	119
Figure 40 : Relation volume/ circonférence moyenne du thuya (forêt de Honaine)	120
Figure 41 : Relation volume/circonférence moyenne du thuya (forêt d'Ain Ghoraba)	120
Figure 42 : Relation volume/ nombre de tige/ha dans la forêt de Honaine	120
Figure 43 : Relation volume/ nombre de tige/ha dans la forêt d'Ain Ghoraba.....	120
Figure 44 : relation volume / exposition dans la forêt de Honaine	121
Figure 45 : relation volume / exposition dans la forêt d'Ain Ghoraba	121
Figure 46 : relation volume / profondeur du sol dans la forêt de Honaine	122
Figure 47 : relation volume / profondeur du sol dans la forêt d'Ain Ghoraba.....	122

Figure 48 : relation volume / altitude dans la forêt de Honaine	123
Figure 49 : relation volume / altitude dans la forêt d'Ain Ghoraba	123
Figure 50 : relation volume / pente dans la forêt de Honaine	123
Figure 51 : relation volume / pente dans la forêt d'Ain Ghoraba	123
Figure 52 : Cercle de corrélation de l'ACP de la matrice observations/variables	125
Figure 53 : Histogrammes des résidus du modèle retenu dans la forêt de Honaine	128
Figure 54 : Histogrammes des résidus du modèle retenu dans la forêt d'Ain Ghoraba.....	128
Figure 55 : Tracée Normal (droite d'Henry) des résidus (forêt de Honaine).....	128
Figure 56 : Tracée Normal (droite d'Henry) des résidus (forêt d'Ain Ghoraba).....	128
Figure 57 : répartition de la hauteur dominante en fonction de l'âge (forêt de Honaine).....	129
Figure 58 : répartition de la hauteur dominante en fonction de l'âge (forêt d'Ain Ghoraba)	129
Figure 59 : Courbes de croissance en hauteur dominante du thuya (Honaine)	131
Figure 60 : Courbes de croissance en hauteur dominante du thuya (Ain Ghoraba).....	131
Figure 61 : Courbes de croissance en hauteur dominante du thuya (N' FIS)	132
Figure 62 : Curves for site index of 3, 5 and 7 m at the reference age of 40 years overlaid on the trajectories of the observed heights over time for models M5.	133

Liste des tableaux :

Tableau 01 : Les associations du thuya dans les Monts des Trara.	20
Tableau 02 : Evolution de la population de HONAINE.	50
Tableau 03 : Indice de Ruralité de la zone d'étude	50
Tableau 04 : Répartition de la Surface Agricole Utile (S.A.U) à Honaine.....	52
Tableau 05 : Consistance de la Surface Agricole Utile (S.A.U) à Honaine	52
Tableau 06 : Production végétale (cultures herbacées) à Honaine	52
Tableau 07 : Production végétale (cultures pérennes) à Honaine.....	52
Tableau 08 : Effectif de l'élevage dans la zone de Honaine.....	53
Tableau 09 : Contexte administratif des communes concernées	54
Tableau 10 : La superficie forestière à Honaine	55
Tableau 11 : Répartition des pistes dans le territoire de Honaine.....	56
Tableau 12 : Répartition des TPF dans la circonscription de Ghazaouet	57
Tableau 13 : Les postes de vigie dans la circonscription de Ghazaouet.....	57
Tableau 14 : Les points d'eau dans la circonscription de Ghazaouet.....	57
Tableau 15 : Evolution des superficies incendiées à la commune de Honaine	58
Tableau 16 : Evolution de la population d'AIN GHORABA.....	66
Tableau 17 : Evolution de l'élevage dans la commune AIN GHORABA	67
Tableau 18 : Occupation et répartition des terres dans la commune d'AIN GHORABA	67
Tableau 19 : Production végétale dans la commune d'AIN GHORABA	68
Tableau 20 : Répartition des pistes dans la circonscription de Tlemcen	70
Tableau 21 : Répartition des TPF dans la circonscription de Tlemcen	70
Tableau 22 : Postes vigies dans la circonscription de Tlemcen.....	71
Tableau 23 : Points d'eau dans la circonscription de Tlemcen.....	71
Tableau 24 : Evolution des superficies incendiées dans les Monts de Tlemcen	71
Tableau 25 : Données générales des stations météorologiques de référence.....	73
Tableau 26 : Données climatiques des stations de référence (Période 1980-2013).....	74
Tableau 27 : Données climatiques des stations de référence (Période 1913-1938).....	74
Tableau 28 : Régime saisonnier des précipitations	77
Tableau 29 : Indice de continentalité	80
Tableau 30 : Indice de sécheresse estivale.....	81
Tableau 31 : Indice d'aridité DE MARTONNE (1926)	82
Tableau 32 : Valeurs de Q2 et étages bioclimatiques	84
Tableau 33 : Localisation des placettes d'échantillonnage	91
Tableau 34 : Fiche de terrain des placettes expérimentales.....	93
Tableau 35 : Paramètre de productivité de la tétraclinaie de HONAINE.....	116
Tableau 36 : Paramètre de productivité de la tétraclinaie d'AIN GHORABA.....	117
Tableau 37 : Valeurs propres des cinq premiers axes de l'ACP	124
Tableau 38 : Matrice de corrélation (Pearson (n))	125
Tableau 39 : Tests arithmétiques du modèle retenu	127
Tableau 40 : Valeurs des paramètres du modèle (Tétraclinaie de HONAINE).....	129
Tableau 41 : Valeurs des paramètres du modèle (Tétraclinaie d'Ain Ghoraba)	129
Tableau 42 : hauteurs dominantes des classes de fertilité du thuya à Honaine.....	130
Tableau 43 : hauteurs dominantes des classes de fertilité du thuya à Ain Ghoraba.....	130

Liste des photos :

Photo n° 01 : Vue sur la forêt de Honaine	42
Photo n° 02 : Vue sur la forêt d'AIN GHORABA	58
Photo n° 03 : Placettes 02 (Oued Regou)	115
Photo n° 04 : Placettes 09 (Ras Elkoudia)	115
Photo n° 05 : Placettes 04 (Dar El Arar)	116
Photo n° 06 : Placettes 11 (Dar El Arar)	116

Liste des abréviations :

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat
S.T : Surface totale
S.A.U : Surface agricole utile
TPF : Tranchée pare-feu
B.N.E.D.E.R : Bureau national des études pour le développement rural
H.C.E.F.L.C.D : Haut Commissariat des Eaux et Forêts et de Lutte Contre la Désertification
L'AIC : Akaike Information Criterion
CMR : Carré moyen résiduel
C_{M.T} : Circonférence au milieu du tronc
N : Nombre de tiges par hectare
DG : Diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne
G : Surface terrière du peuplement
H : La hauteur moyenne du peuplement
H_{Dom} : La hauteur dominante du peuplement
V : Le volume

Introduction générale

Introduction générale

Dans le bassin méditerranéen, l'espace forestier requiert une importance écologique et socio-économique certaine (**MEDAIL & QUEZEL ,2003**). La flore méditerranéenne actuelle est formée d'un mélange complexe d'espèces aux origines biogéographiques variées et plus ou moins anciennes. Elle est le résultat de différenciations locales à partir d'espèces ancestrales, et de multiples migrations de végétaux, répétées au fil du temps. L'histoire géologique particulièrement mouvementée de cette région et les fortes variations climatiques survenues depuis deux millions d'années constituent des facteurs historiques clés pour expliquer cette biodiversité très hétérogène (**THOMPSON, 2005**).

La forêt algérienne comme celle méditerranéenne présente des richesses naturelles importantes, dont une diversité floristique avérée (**MEDAIL & QUEZEL ,2003**). C'est une forêt essentiellement de lumière, irrégulière composée des peuplements de feuillus ou résineux le plus souvent ouvert formés d'arbres de toutes tailles et de tous âges en mélange, avec la présence d'un épais sous-bois composés d'un grand nombre d'espèces secondaires, ce qui favorise la propagation des feux et affaiblit le rendement moyen en volume des ligneux (**FAO, 1999**).

La gestion forestière nécessite de pouvoir prédire l'évolution des différentes parcelles, en particulier en terme de production et de qualité du bois (**STOYAN & PENTTINEN, 2000 ; GOREAUD, 2000 ; POMMERENING, 2006**). Les peuplements forestiers hétérogènes, irréguliers ou mélangés, font pourtant depuis quelque temps l'objet d'un intérêt croissant de la part des forestiers (**OTTO, 1997 ; DUCHIRON, 1994 ; BUONGIORNO et al, 1995 ; DE TURKHEIM & BRUCIAMACCHIE, 2005 ; DHOTE et al, 2005**).

Cet intérêt résulte en partie d'une demande sociale pour une prise en compte de questions environnementales dans la gestion forestière. L'idée générale est que des peuplements plus complexes, irréguliers ou mélangés, correspondraient à des objectifs de diversification écologique et des paysages, et pourraient aussi se révéler plus résilients aux aléas climatiques et autres agressions, voire à un éventuel changement climatique.

Par ailleurs, d'après **DE ROSNY (1856)**, les vastes forêts qui couvrent les abords de l'Atlas renferment une grande variété d'arbres, dont l'exploitation pourrait fournir à la marine, à la menuiserie en bâtiment, à l'ébénisterie et à la tableterie des sources de richesses inépuisables. Ces dernières industries surtout trouveraient, dans l'emploi des diverses essences de l'Algérie, les éléments nécessaires pour confectionner des produits durables et dont l'aspect serait en même temps riche et splendide, agréable et varié.

Les essences propres à l'ébénisterie que l'on rencontre dans les forêts de l'Algérie sont, comme nous l'avons dit, nombreuses et variées. Mais aucune ne saurait rivaliser avec le thuya de Barbarie (*Tetraclinis articulata* (VAHL) Masters), tant sous le rapport de la beauté que de la solidité **(DE ROSNY, 1856)**.

Le thuya de Barbarie est une essence qui est essentiellement cantonnée en région méditerranéenne méridionale occidentale. Il joue un rôle socio-économique important en Afrique du Nord, il constitue un lieu de pâturage pour le bétail et fournit des produits pour les usages domestiques. Mais le thuya trouve essentiellement sa place dans l'activité artisanale surtout maghrébine qui joue un rôle économique et social crucial.

C'est au Maroc que cette espèce individualise les peuplements les plus étendus et les plus diversifiés **(BENABID, 1984)**. Elle est considérée comme une essence précieuse, elle fournit du bois d'œuvre, du bois de service, du bois énergie, de la gomme sandaraque, du goudron et des fleurs à nectar précieux **(HAJIB et al 2013)**.

L'Algérie possède aussi un véritable potentiel forestier notamment en ce qui concerne le thuya avec des possibilités de mise en valeur aussi bien pour la production ligneuse, que pour la protection de l'environnement. Le thuya couvrait une surface de 160 000 ha, il occupe la 4^{ème} position après le Pin d'Alep, le chêne vert et le chêne liège **(LETREUCH, 1991)**. Il se trouve dans le secteur littoral Oranais aussi qu'à l'intérieur du pays **(BOUDY, 1950)**, il est exclu dans le tell constantinois aussi bien dans la région littorale orientale et centrale à cause du froid et de l'humidité.

D'autre part, la place de l'homme dans l'environnement méditerranéen apparaît plus que jamais comme déterminante, puisque ses impacts et ses choix de gestion déterminent le maintien de la biodiversité du bassin méditerranéen **(MEDAIL & DIADEMA, 2006)**.

Les facteurs de destruction des écosystèmes forestiers algériens sont multiples, mais les plus significatifs sont les feux de forêt, aggravés par le surpâturage qui empêche le renouvellement naturel et artificiel des peuplements forestiers. L'érosion des sols, qui succède aux feux, aggrave aussi les problèmes de renouvellement des peuplements, la forêt semble donc en voie de dégradation progressive dont les essences principales sont remplacées par les maquis et les broussailles **(MELLOULI, 2007)**.

L'aire du thuya a fortement régressé sous l'effet de l'action anthropique. Toutefois, on trouve localement de bonnes régénérations. Il convient de signaler que ces écosystèmes offrent une grande résilience qui leur permet une restauration rapide après toute perturbation non exagérée. Le thuya réagit par une régénération naturelle, qui se produit aisément si les

conditions écologiques le permettent, et il rejette vigoureusement de souche lorsqu'il est coupé (**HAJIB et al 2013**).

Les écosystèmes à thuya sont ainsi les plus menacés par les différents aspects de dégradation dont les incendies constituent la cause la plus importante. Les formations qu'il constitue connaissent actuellement une régression alarmante, malgré le pouvoir de régénération exceptionnel par rejets de souche de l'espèce (**TERRAS, 2008**). Depuis quelques années, son exploitation s'est intensifiée pour répondre à une demande très forte des produits artisanaux. L'exploitation des souches mortes, qui fournissent la loupe de thuya, est une pratique qui met en danger la survie de cette essence dont la régénération est difficile et la croissance est lente (**DE ROSNY, 1856**).

Actuellement l'essence occupe 72.300 ha répartis dans le secteur oranais et algérois entre 150 et 850 m (**FAO, 1999**). Il apparaît clairement que le thuya reste une espèce menacée, dans son aire écologique où elle est endémique, sous l'effet de la pression humaine et animale et surtout par les incendies. Cette formation connaît actuellement une régression alarmante malgré le pouvoir de rejeter des souches de cette espèce (**TERRAS, 2010**).

Par ailleurs, le thuya occupe en Oranie et spécifiquement dans la région de Tlemcen des surfaces considérables. Cependant, malgré sa grande importance écologique et économique, aucune tétraclinaie naturelle dans la région n'a fait l'objet d'une étude de productivité proprement dite.

Le thuya était longtemps considéré comme une essence forestière sans grand intérêt, les écologues et les forestiers insistent actuellement sur la place éminente qu'elle joue dans la structuration des paysages végétaux du Maghreb, mais aussi sur sa valeur forestière et économique (**MEDAIL & QUEZEL, 2003**). Malheureusement, la tétraclinaie ne dispose ni d'inventaires forestiers, ni de plans d'aménagement, conduisant ainsi ces peuplements au régime du taillis (**OULHACI, 2010**). En matière de conduite des peuplements, les actions entreprises étaient et restent très limitées, en raison certainement de l'absence des données confirmées par la sylviculture du thuya (**KHALDI, 2010**).

Aussi, afin de prédire l'évolution des peuplements forestiers, et ainsi faciliter l'aménagement, les chercheurs ont mis aux points différents types de modèles de dynamique forestière. Dans les pays à tradition sylvicole, la forêt est gérée et les forestiers planifient et organisent les différentes actions sylvicoles (plantations de jeunes arbres, semis, coupes d'éclaircie pour favoriser la croissance des plus beaux arbres, récolte du bois produit, coupes et travaux facilitant la régénération naturelle), afin que la forêt réponde au mieux aux différents objectifs fixés en terme de production, de conservation, de protection et de loisirs.

Le thuya est cependant l'une des essences autochtones la moins étudiée du point de vue de la productivité, les rares travaux disponibles portant surtout sur la syntaxonomie et la phytosociologie, la régénération et la chimie du bois et très peu sur la productivité.

Mise à part les quelques travaux sur des peuplements naturels, de **BOUDY (1952)**, **BENABID (1976)**, **ACHHAL et al (1985)** au Maroc et **ZAIDI (1988)** en Algérie, il n'existe pas de données détaillées concernant la productivité et les classes de fertilité des tétraclinaies.

Aussi, les travaux d'analyse dendrométriques de **HADJADJ –AOUL (1999)** se sont portés sur un reboisement fait à base de thuya de berbérie dans une parcelle expérimentale de l'arboretum de Ténira (Sidi Bel Abbès) d'une surface de 8060 m² (inférieur à 1 ha). Les résultats obtenus dans un contexte artificiel ayant subi des interventions sylvicoles, ne reflètent pas les conditions de croissance réelles d'une tétraclinaie naturelle beaucoup plus dense, avec un nombre de tiges à l'hectare approchant du double de celui de la parcelle expérimentale et des volumes et accroissements annuels présentant des écarts non négligeables (**HADJADJ –AOUL ,1999**). Cependant, cette étude reste un référentiel pour pouvoir faire des comparaisons.

Dans ce contexte, nous nous sommes intéressés aux tétraclinaies de l'ouest algérien et plus précisément aux Monts des Trara et aux Monts de Tlemcen, où nous avons étudié différentes méthodes d'estimation de la productivité des milieux forestiers à partir de placettes expérimentales préalablement choisies par échantillonnage stratifié.

Notre travail de productivité s'est basé sur l'étude des caractéristiques propres des placettes et des peuplements pour évaluer la biomasse (approche qualitative), et a tenu compte des relations entre la production des peuplements et les caractéristiques stationnelles les plus saillantes (approche quantitative).

Dans une autre approche nous avons décrit les indices de productivité. Ces indices sont des témoins de qualités « stationnelles », basés sur le recueil de données qui doivent être faciles à mesurer et convenablement corrélés avec la production.

Ainsi, ce travail de recherche dans la région de Tlemcen est une première ébauche fondamentale, avec des résultats quantitatifs concrets qui ont pour aboutissement de dresser un bilan réel des conditions de développement du thuya afin de préconiser les opérations sylvicoles nécessaires à l'augmentation des volumes. Dans ce sens, il a été démontré par **BENABID (1976)**, que l'augmentation en volume du thuya croît considérablement après le dépressage et l'éclaircie des peuplements trop serrés.

En conséquence, la présente recherche a été conçue pour tenter de répondre à des préoccupations intimement liées à la gestion et l'aménagement des tétraclinaies dans l'ouest

algérien, et pour mettre à la disposition des gestionnaires forestiers un modèle de croissance propre au thuya permettant de prédire la croissance en hauteur dominante.

Le présent travail est structuré en cinq chapitres. Dans le premier, nous présentons les différentes caractéristiques du thuya et nous allons revenir à l'historique d'installation de cette espèce en Méditerranée.

Nous abordons par la suite dans le deuxième chapitre, un bref aperçu sur l'estimation de la productivité forestière et les différentes notions qui lui sont associées.

Le troisième chapitre est consacré à la présentation des milieux d'étude, à savoir la région de Honaine et celle d'Ain Ghoraba.

Dans le quatrième chapitre nous abordons la méthodologie d'élaboration d'un modèle expérimental permettant la description et l'analyse de la productivité des peuplements étudiés. Enfin, cela nous amènera au dernier chapitre consacré à la présentation des résultats relatifs à la productivité des peuplements étudiés et des recommandations propres à leurs aménagements.

Chapitre 1 :
Présentation du thuya de berbérie

1.1 Historique :

L'installation du *Tetraclinis articulata* (Vahl) Link en Méditerranée occidentale remonte au Tertiaire au cours de laquelle son aire était importante en Europe centrale. Il est ainsi le dernier survivant de la forme qui s'étendait jusqu'au Groenland à l'époque jurassique et qui peuplaient encore l'Europe occidentale au Tertiaire (MAIRE, 1952).

Le Thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*), a été décrit par VAHL (1791), sous le nom de thuya articulata = *Callitris articulata* (Vahl) Link, par la suite il a été reporté au genre *Tetraclinis* par MAIRE en 1926.

Aussi, QUEZEL et SANTA (1962-1963), rattachent l'espèce au genre *Callitris* qui a été décrit par Vent en 1808. Ce dernier lui donne le nom de *Callitris quadrivalvis* Vent. La plupart des flores actuelles (flore pratique du Maroc, flore de Tunisie, Med-checkliste...) rattachent d'ailleurs l'espèce au genre *Tetraclinis*. C'est le seul représentant de ce genre en Afrique du Nord. L'espèce porte aussi plusieurs autres appellations telles que thuya de l'Afrique, thuya du Maghreb et Faux Cyprée.

GALIBER (1844), signalait que les essences qui se trouvaient en plus grande abondance dans les régions de l'Afrique septentrionale pendant l'ère tertiaire étaient : le chêne vert, l'olivier, l'orme, le frêne, le chêne liège, l'aulne, le pin d'Alep, et le thuya articulata. Malheureusement, la régression de l'aire du thuya de Barbarie est frappante car cette essence, aujourd'hui considérée comme un élément ibéro-maurétanien, constituait dans l'Antiquité des peuplements étendus en Cyrénaïque (Fig 1) et se trouvait même dans l'oasis de Siwa, en plein désert libyque (QUEZEL-SANTA, 1962).

Dans ce contexte AMIGUES (1991), rapporte que le premier, Théophraste (c . 320-300ay . j .-C .), donne de cet arbre une description assez précise et vante les qualités de son bois, recherché pour les charpentes et l'ébénisterie : « Le thyon, autrement dit le thuya, croît aux abords du sanctuaire ammonien (Siwa) et sur le territoire de Cyrène ; il a l'aspect d'un cyprès pour les rameaux, les feuilles, le tronc et le fruit, mais c'est plutôt comme un cyprès sauvage [i .e . *Cupressus sempervirens* L. f. *horizontalis* (Miller) Voss] ; comme matériau de construction, il était purement utilitaire et sans doute local ; mais la mention « d'ouvrages soignés » faits avec le bois madré des racines annonce déjà la vogue extraordinaire que devaient connaître, surtout à l'époque romaine, les objets de luxe en thuya.

Après son annexion par Alexandre, la Cyrénaïque passa sous l'autorité des souverains lagides et ses bois les plus précieux prirent le chemin d'Alexandrie. Ainsi la cabine du bateau somptueux construit pour Ptolémée Philopator, roi d'Égypte de 221 à 203, avait, des portes en thuya. Les plateaux de ces tables, dont certaines dépassaient de beaucoup le diamètre de simples guéridons, étaient taillés dans les loupes développées en terre ou au ras du sol sur la souche de l'arbre. Les amateurs recherchaient surtout les madrures, en forme de cheveux crépus ou de petits chignons (AMIGUES, 1991).



Figure 1 : Représentation de l'élément ibéro-mauritanien (QUEZEL-SANTA, 1962), modifiée par HADJADJ (2016).

Selon toujours AMIGUES (1991), il est possible de situer approximativement dans le temps et plus précisément dans l'espace l'exploitation massive de *Tetraclinis articulata*. L'engouement des Romains pour les *citreae mensae* remonte environ au milieu du premier siècle avant notre ère.

MHIRIT & BLEROT (1999) et ELIE DE LADRI MAUDAIE (1860), rapportent dans ce contexte que dans l'Antiquité les Romains appréciaient le thuya pour la fabrication des meubles, à l'époque romaine des tables de thuya coûtaient à Rome jusqu'à l'équivalent d'un latifundium de 350 ha.

À cette époque là, des tables de thuya mauritanien meublaient déjà les palais d'Alexandrie, mais ce n'était encore qu'un luxe princier. Dès lors les Romains allaient mettre au pillage les

forêts de l'actuel Maghreb .À l'Atlas confine la Maurétanie, où abondent les citres, venait une folie des tables de citre. On voit ainsi avec quelle rapidité *Tetraclinis articulata* régressait dans le Maghreb.

Cependant, moins d'un siècle plus tard, **DURAND** et **BARRATTE (1910)** incluent *Callitris quadrivalvis* Rich. (= *Tetraclinis articulata*) dans leur « liste des plantes qui n'ont pas été retrouvées depuis la publication, en 1824, du « Florae Libycae specimen de Viviani ». Les données les plus récentes (**POLUNIN, 1967**) indique de « petits peuplements isolés en Cyrénaïque ». Nous admettons sans grand risque d'erreur que *Tetraclinis articulata* y est aujourd'hui très raréfié, sinon complètement éteint dans cette région (**AMIGUES ,1991**).

La famille des conifères a joué donc dans les diverses végétations successives de l'ancien monde un rôle important. A toutes les époques elle paraît avoir eu des représentants, les Pins et Abies ne sont pas les seuls genres de la famille des conifères qui se rencontrent dans les terrains tertiaires, on y trouve encore des thuyas (**ARAGO, 2008**).

Au Maroc, le thuya de Berbérie au Jbel Amsitten en province d'Assaouira est parmi les essences les plus anciennes du monde méditerranéen, dont les ancêtres seraient apparus dès le commencement de l'ère tertiaire (**MHIRIT et BLEROT, 1999**). En effet, au début du siècle, les populations de l'Atlas occidental gemmaient le thuya pour obtenir la gomme sandaraque, une résine utilisée en pharmacie et dans l'industrie des vernis. Ce produit était entièrement exporté par voie maritime -à partir de Mogador (Essaouira) vers l'Europe et les Etats-Unis (**AUCLAIR, 1993**).

En Algérie les données historiques sont quasi absentes. En Tunisie, le ministère de l'agriculture et des ressources hydrauliques tunisiennes dans une étude portant sur l'écotourisme au centre de Tunisie signale que le bois de thuya pendant l'antiquité et à l'époque médiévale servi dans la construction et l'ébénisterie.

1.2 Caractères botaniques :

Les caractères botaniques du thuya du Maghreb ont été décrits par **BOUDY (1952)**, **BENABID (1976)**. , **FENNANE (1987)**, **HADJADJ AOUAL et al (2009)**., et bien d'autres auteurs : « Le thuya est un résineux à feuillage léger et persistant, dans sa jeunesse, son port est pyramidal, les feuilles sont réduites en écailles opposées et imbriquées par deux, les fleurs en chaton, situées à l'extrémité des rameaux. Le fruit est un cône d'allure cubique s'ouvrant par quatre valves sous l'effet de la chaleur, libérant ainsi six graines ailées ».

Tetraclinis articulata est une essence monoïque qui dépasse rarement 6 à 8 m de haut et 0,30 m de diamètre en moyenne. Quelques vieux sujets allant jusqu'à 20 m de haut pour 1 m de diamètre, ont été observés, mais cela reste très rare (**HADJADJ AOUAL et al ,2009**).

L'arbre fleurit en automne (Octobre) et fructifie l'été suivant (Juin, Juillet). Cette fructification démarre vers l'âge de 15 ans et se répète à un âge très avancé, l'ouverture des cônes qui reste comme pour beaucoup d'espèces conditionnées par la chaleur n'a lieu qu'à la fin de l'été (**BOUDY, 1952**).



Cône de thuya



Ecorce de thuya



Aiguilles de thuya

Figure 2 : Les différents organes du thuya.

La production des graines est relativement bonne voire très bonne et le problème de régénération naturelle par semis n'est pas freiné par la quantité des semences produites (**HADJADJ AOUAL, 1995**). La longévité des semences dure 6 à 8 mois (**EMBERGER ,1938 ; GRECO, 1967**).

La dissémination de ses graines reste limitée et le plus gros de ses semences se retrouve au pied même de l'arbre contrairement au Pin d'Alep beaucoup plus expansionniste (**ACHERAR, 1981**).

Par ailleurs, le thuya de Berbérie est l'un des rares résineux à rejeter des souches et ce jusqu'à un âge très avancé, 400 ans environ (**BOUDY, 1952**). C'est ce qui donne la physionomie de taillis à ces peuplements et a sans doute contribué de manière significative à son maintien dans les massifs boisés Nord Africains (**HADJADJ AOUAL, 1995**).

Les plantules sont très semblables à celles du pin d'Alep, avec lesquelles d'ailleurs elles peuvent être confondues. En effet, toutes deux présentent durant la première année de

petites feuilles en aiguilles d'un centimètre environ. Ce n'est que plus tard que les petites feuilles de la plantule du thuya s'imbriquent telles des écailles par quatre pour donner de petits rameaux articulés caractéristiques. Cela donne un feuillage très léger et ainsi le couvert du thuya reste suffisamment lumineux (**HADJADJ AOUAL, 1995**).

1.3 Aire de répartition :

Le thuya de Berberie (*Tetraclinis articulata*), est une espèce endémique de l'Afrique du Nord, et en particulier des pays du Maghreb (Maroc, Algérie et Tunisie). Il se rencontre aussi dans quelques secteurs très ponctuels, au Sud-est de l'Espagne (région d'Almeria) et sur l'île de Malte (**RIKLI, 1943** et **QUÉZEL, 1980**). En Espagne, il a été classé dans la catégorie **En Danger** sur la liste rouge de l'UICN (**ACHHAL et al, 1985, UICN, 2011**).

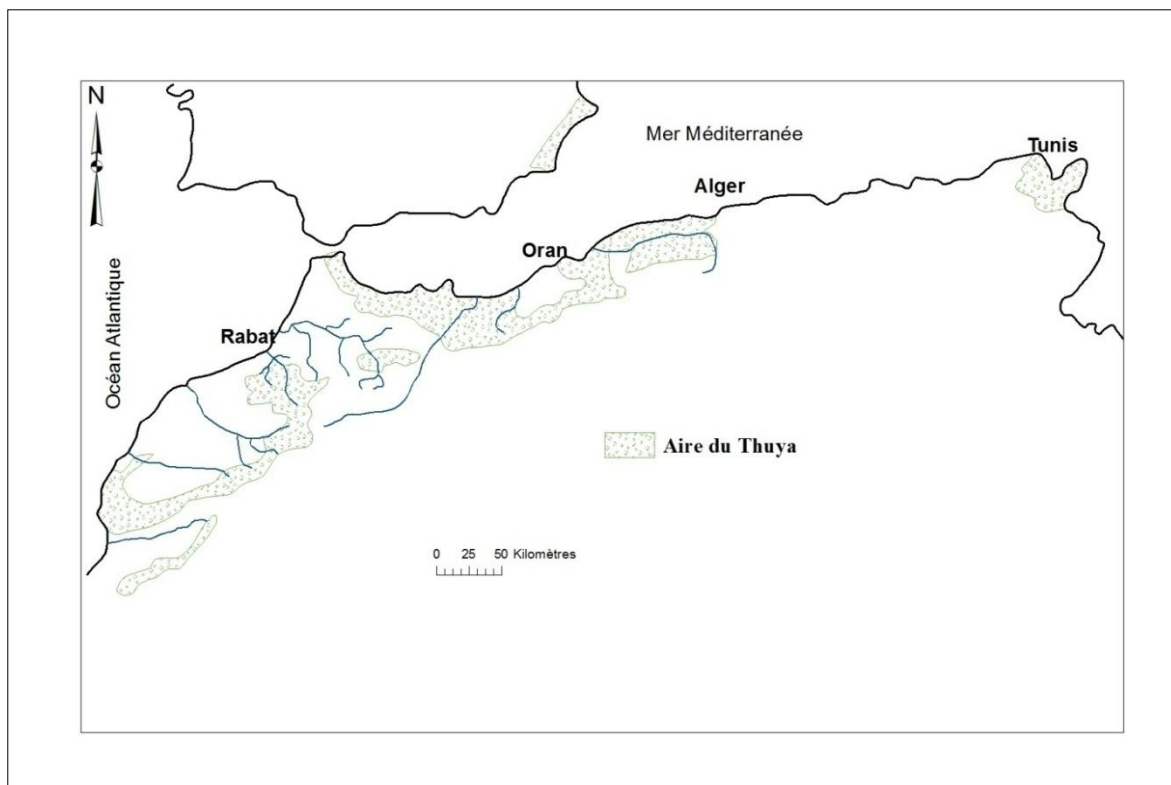


Figure 3 : Aire de répartition du thuya de Berbérie en méditerranée Sud-occidentale
D'après **QUEZEL (1980)**, modifiée par **HADJADJ (2016)**.

MEDAIL et QUEZEL (2003), soulignent que la valeur biogéographique et écologique du thuya de Berbérie est actuellement bien connue au Maghreb, à la suite de nombreux travaux, notamment ceux de **EMBERGER (1939)**, **ACHHAL et al. (1985)**, **ALCARAZ (1982)**, et surtout **FENNANE et al. (1984)**, **FENNANE (1987)** et **HADJADJ AOUAL (1991)**.

La superficie occupée par ce résineux n'a cessé de régresser au fil du temps suite à son exploitation par l'homme d'une manière abusive ou clandestine (**BENABID, 1976, EL MOURIDI, 2011, BOURKHISS et al, 2010**). En Algérie, il ne représente actuellement que moins de 140 000 ha (**LETRECH BELAROUCI, 1991, MAATOUG, 2003**) alors qu'il couvrait plus de 160.000 ha (**BOUDY, 1950**).

Au Maroc l'aire de répartition du thuya est subdivisée en six grandes zones : zone Rifaine, zone du Maroc oriental, zone du moyen Atlas oriental, zone des vallées du plateau central, zone du moyen Atlas occidental et haut Atlas (piémonts Nord Atlasique, Revers Sud du haut Atlas, région d'Essaouira, haut Atlas occidental), et zone de l'anti Atlas (**BENABID, 1976 et FENNANE, 1987**).

Il occupe d'après **BENABID (1976)**, une superficie de 725000 ha. Son aire marocaine actuelle est d'environ 607900 ha localisée principalement dans les étages semi-arides océaniques et maritimes, entre le niveau de la mer et 1500 m d'altitude.

En Tunisie, le thuya ne couvre que 30000 ha (**BOUDY, 1950**), depuis les collines du Nord-Est jusqu'à une ligne allant de Bizert au Mont de Zaghouane et à Hammamat (**MAIRE, 1952**). Il pousse sur le calcaire, la silice, et même sur les terrains gypseux à condition qu'il soit bien drainé (**EL HAMROUNI, 1978**). Son aire bioclimatique semble plus étendue puisqu'on le trouve depuis l'étage aride dans ses variantes douces, tempérées ou fraîches jusqu'au niveau supérieur du subhumide tempéré et doux (**FENNANE, 1987**).

En Algérie les tétraclinaies couvraient une superficie de 161000 ha vers le début de siècle dernier (**BENABDELLI, 1992**), alors que vers la fin de cette période les chiffres avancés par l'administration des forêts varient entre 143000 ha et 130000 ha (**LETRECH B-N, 1991**).

QUÉZEL et al (1962, 1963), ont mentionné que le thuya est très commun dans le secteur Oranais, assez commun dans le secteur Algérois et dans le sous secteur des hauts plateaux et il est très rare dans la grande Kabylie.

Dans la région Algéro-Ouarsienne, les peuplements de thuya ne s'individualisent pas et sont le plus souvent en mélange avec le Pin d'Alep. On les trouve dans les circonscriptions de Cherchel, Média, Ténès, et Theniet el Had sous forme de vieux taillis dégradés par les incendies, ils se trouvent aussi dans les régions de Delles et Lakhdaria sous forme de pied isolé et petit bouquet puis dans la vallée de l'oued sahel vers M'Chandella sur le piémont sud de lalla Khadîdja du Djurdjura (**LAPIE et MAIGE, 1914 et HADJADJ AOUAL, 1995**).

En Oranie et plus particulièrement à l'ouest algérien, le thuya se cantonne exclusivement dans l'étage bioclimatique semi-aride à variante chaude, douce, et même fraîche pouvant se développer à une altitude maximale de 1400 m. Peu résistant au froid, il est largement répandu sur les sols calcaires où il se présente en formation pure mais le plus souvent en mélange avec le chêne et le pin d'Alep (**FENNANE 1982, BENABDELI, 1996**). Ses exigences sont donc assez proches de celles du pin d'Alep, mais ces deux espèces offrent, au Maghreb, des répartitions bien différentes (**MEDAIL et QUEZEL, 2003**). En effet, le thuya supporte mal les précipitations élevées (supérieures à 800 mm par an).

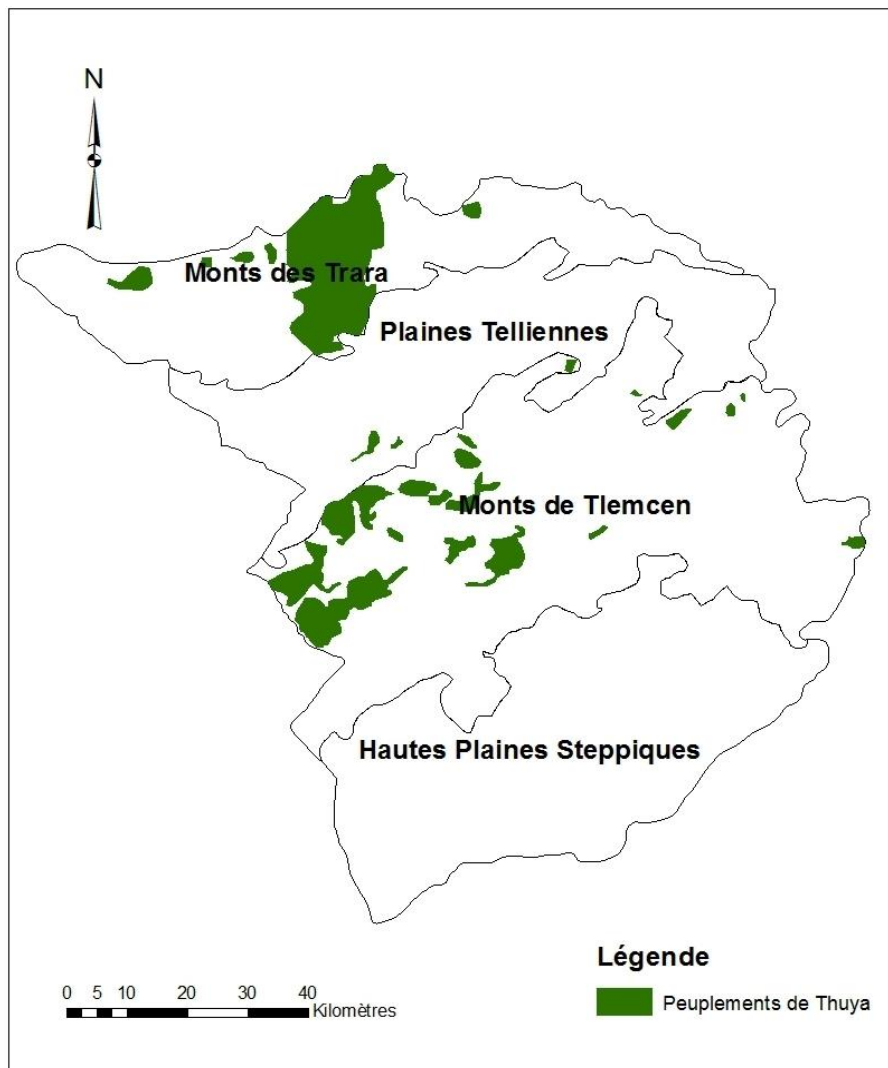


Figure 4 : Répartition du thuya de Berbérie dans la région de Tlemcen (**HADJADJ, 2016**)

Entres autre, en Oranie le thuya se substitue nettement au Pin d'Alep et forme des peuplements homogènes dans le secteur littoral. On le rencontre dans la forêt de Ténès, El guelta, Oued Ras, puis dans toutes les forêts de Mostaghanem, Sidi Bel-Abbes avec une forte

proportion dans les forêts de Guetarnia, Oukar, Zehoudj-Bouryates. Dans la région de Tlemcen le thuya réapparaît entre la mer et le grand massif de chêne vert de Sebdoù où il forme des boisements isolés généralement dégradés (**MILOUDI, 1996**).

Dans la région de Tlemcen (Fig 4), et particulièrement dans les Monts des Trara (Forêt domaniale de HONAINÉ, BENI MENIR, NEDROMA, AIN KEBIRA, BENI OUARSOUS, BENI KHELLAD, et TOUENT) le thuya forme des peuplements purs. Dans les Monts de Tlemcen, il se trouve mélangé avec le chêne vert et le genévrier oxycèdre, on le trouve aussi dans la forêt domaniale de TAMAKSALT au niveau des Plaines telliennes de MAGHNIA-TLEMEN et de REMCHI (**BNEDEK, 2009**).

1.4 Ecologie du thuya :

1.4.1 Conditions climatiques :

Le thuya est une essence de lumière thermophile et xérophile caractérisée par ses faibles exigences en eau 300 à 500 mm / an. Son optimum écologique est lié à l'étage bioclimatique semi-aride à variante tempérée douce, chaude et très chaude aussi se développe en étage sub-humide à variante chaude, douce et tempérée sur sol filtrant (calcaire), il craint les froids humides et préfère les expositions chaudes (**QUÉZEL, 2000**).

De même que le pin d'Alep sa rusticité, son indifférence vis-à-vis du sol, ses faibles exigences en eau lui permettant de se maintenir solidement dans les stations les plus variées et les plus sèches. Il se défend même mieux que le chêne vert sur les terrains qu'il occupe et grâce à sa faculté de rejeter de souche jusqu'à un âge avancé, il réagit vigoureusement au feu et aux mutilations de toutes sortes (**BOUDY, 1952**).

Au Maroc, son aire bioclimatique semble plus étendue, puisqu'on le trouve depuis les niveaux de l'aride dans les variantes douces, tempérée, et fraîche jusqu'au subhumide doux et tempérée. Il se trouve dans l'aire supérieure sous un état mal venant largement dominé par des espèces plus xérophiles (**FENNANE, 1987**).

En Tunisie, le thuya s'observe dans la variante à hiver doux du semi aride inférieur jusqu'au subhumide (**LE HOUEROU, 1995 et EL HAMROUNI, 1978**).

En Algérie, le thuya occupe essentiellement l'étage semi aride, étage le plus répandu d'ailleurs en Oranie. Il peut déborder dans le subhumide à la faveur de l'altitude (**HADJADJ AOUAL, 1988**).

1.4.2 Conditions lithologiques :

Sur le plan lithologique, le thuya se trouve aussi bien sur les roches siliceuses que sur les roches calcaires et les sols fersiallitiques meubles plus au moins profonds .Il a cependant une préférence pour les sols calcaires, parce qu'ils sont plus aérés et plus chauds (**HADJADJ AOUAL, 1995, BOUDY, 1952**).

En Algérie, on le rencontre sur tous les étages, sur le crétacé, dans les régions de l'Ouarsenis et Ténès, sur le Jurassique dans celles de Freneda, Saida et Tlemcen et sur le quaternaire et pliocène dans celle de Mostaganem (**BOUDY, 1950**).

En Tunisie, le thuya pousse sur le calcaire, la silice et même les terrains gypseux à condition qu'il soit bien drainé (**EL HAMROUNI, 1978**).

Malgré sa plasticité écologique, il se trouve que le thuya tolère mal les sables mobiles, il est nettement exclu des sols halomorphes dans les plaines sublittorales, il est aussi éliminé des terrains lourds, argileux et épais (**HADJADJ AOUAL, 1995**).

1.4.3 Altitudes :

Le thuya ne se trouve pas en hautes altitudes, mais plutôt sur les plateaux dans la basse et moyenne altitude. Sa limite supérieure est de 1800 mètres (Grand Atlas), sa limite inférieure est variable, il va jusqu'au bord de la mer mais dans le grand Atlas il n'apparaît qu'à 800 ou 1000 mètres d'altitude (**BOUDY, 1952**).

En Algérie le thuya existe en altitude maximale de 1400 m en montagne sèche (Djebel Reguirat), on le trouve jusqu'au bord de la mer dans la région de Mostaganem (**HADJADJ AOUAL, 1995**). En haute altitude, **ALCARAZ (1982)** et **HADJADJ AOUL (1995)** soulignent que le thuya se trouve écarté par des essences plus résistantes aux froids tels que le Chêne vert et le Genévrier oxycèdre.

Dans les Monts de Tlemcen, l'essence, occupe le bas de l'étage méso-méditerranéen, néanmoins on observe son installation à des altitudes entre 1000 et 1020 m dans ce même étage (**BENABDELLAH, 2011**).

1.5 Régénération du thuya :

Le thuya de Berbérie est une essence forestière qui a une faculté d'émettre des rejets de souches jusqu'à un âge très avancé (**BOUDY, 1952**). La régénération des tétraclinaires est assurée donc non seulement par semis mais aussi par rejet de souche.

HADJADJ AOUAL (2009) , signale que la régénération naturelle est d'une façon générale sous la dépendance de nombreux facteurs que nous pouvons regrouper en deux types les facteurs endogènes et les facteurs exogènes:

- 1- Les facteurs endogènes sont ceux liés à l'essence elle-même , il s'agit là de la phénologie de l'arbre, le type de peuplement, la fructification, la quantité et la qualité des semences, le pouvoir de dissémination, la capacité de germination,... etc.
- 2- Les facteurs exogènes sont ceux liés à l'environnement de l'espèce d'une manière générale. Ces facteurs peuvent être rangés en deux catégories : les facteurs abiotiques et les facteurs biotiques. Parmi les facteurs abiotiques, nous citerons le climat régional, le substrat géologique, l'exposition, l'altitude, la pente ainsi que les conditions édaphiques (type de sol, litière, tassement, profondeur...). Enfin les facteurs biotiques de l'environnement sont représentés par les différents prédateurs dont les insectes, les oiseaux, les rongeurs, les mammifères sauvages, l'homme et ses troupeaux .

Pour les peuplements de thuya et malgré que la fructification de l'arbre est suffisamment abondante, la régénération par voie sexuée est irrégulière, cette irrégularité tient vraisemblablement à la nature de substratum (**BOUDY, 1952**).

BENABID (1977), révélait qu'une pluviométrie très irrégulière et souvent mal répartie ajoutée à une saison sèche parfois trop prolongée, conditionnent la germination des graines et la survie des semis en été.

Aussi l'exploitation des souches mortes qui fournissent la loupe de thuya, est une pratique qui met en danger la survie de cette essence dont la régénération est difficile et la croissance est lente (**H.C.E.F.L.C.D, 2013**).

A ce propos, **HADJADJ AOUAL (1995)** , signale que les expositions chaudes sont propices à l'installation des semis, entre les arbustes (cistes, romarins, lavandes), la germination semble mieux se réaliser que dans les vides et les petites clairières. Sous l'arbre lui-même c'est-à-dire sous un léger feuillage on observe aussi le maximum de régénération. Concernant la litière la mortalité des jeunes semis semble être selon l'auteur liée au moins en partie de l'épaisseur de l'horizon A0 mais aussi à la nature de cette litière.

1.6 Sylviculture du thuya :

1.6.1 Types de peuplements :

Le faciès des callitraies est la résultante de l'action prolongée des incendies. Il s'est ensuivi que ces peuplements ne se présentent plus guère que sous l'aspect de vastes nappes équiennes et jeunes avec quelques rares gros arbres très âgés, rescapés des nombreuses mises à feu antérieures. Le sous bois est plutôt réduit, vu ses exigences thermophiles et xérophiles le thuya se mélange relativement peu aux autres essences sauf aux limites de sa station climatique (**BOUDY, 1952**).

Pour ces diverses raisons, les catégories de callitraies sont peu nombreuses. On peut en distinguer selon **BOUDY(1952)**, trois :

- 1. Vieilles futaies :** Ces peuplements qui forment l'exception sont très clairs, renfermant un certain nombre de vieux arbres isolés (30 à 40 vieux arbres), de 40 à 60 cm de diamètre et de 200 à 300 ans d'âge surmontant un sous bois d'essences secondaires. Ces peuplements constituent des îlots plus au moins étendus épargnés par le feu et peu accessibles à l'homme et aux troupeaux. Les boisements de cette catégorie sont rares en Algérie (quelques-uns dans la région de Tlemcen) ; ils sont plus communs au Maroc.
- 2. Taillis de thuya :** C'est la forme la plus commune en Afrique du Nord, la plupart proviennent des incendies antérieurs et des exploitations massives entreprises dans le passé. Au Maroc et en Algérie, ce mode est lié à la fréquence des incendies et du gemmage. Ce type de peuplement est caractérisé par son extrême densité qui atteint souvent plusieurs milliers de tiges à l'hectare. La plupart de ces taillis sont jeunes, leur végétation est généralement vigoureuse et ils sont susceptibles de donner naissance à de très beaux peuplements moyens si on les dessert convenablement, opération qui doublera ou triplera leur croissance.
- 3. Peuplements mélangés :** Le thuya a plutôt tendance à former des peuplements purs. Néanmoins, il se mélange à la plupart des essences forestières, mais en proportions limitées. Il s'associe au chêne liège aux expositions chaudes, c'est-à-dire quand le chêne liège n'est plus dans son aire naturelle ; c'est alors le thuya qui parvient à avoir le dessus. Il peut aussi s'associer au pin d'Alep qui

arrive à le supplanter nettement s'il n'y a pas d'incendie, mais est refoulé par lui dans le cas contraire.

En montagne il ne résiste pas au chêne vert au-dessus de 1200 m. Il pénètre à la fois dans les boisements de genévrier de Phénicie et dans ceux de l'arganier, le mélange le plus commun en Algérie est celui du thuya et des essences secondaires où il tient alors la place de l'un des éléments naturels de la brousse où il se trouve.

1.6.2 Opérations sylvicoles :

Le traitement du thuya, est des plus simples en raison de sa faculté de rejeter de souches jusqu'à un âge avancé et de la lenteur de sa croissance, le seul régime possible est celui du taillis. Plus que pour tout autre arbre de berbérie, la perpétuité des peuplements de thuya a été assurée depuis un temps immémorial par les rejets de souches consécutifs aux incendies. Celui de la futaie est irréalisable en raison de la lenteur de la régénération et de la croissance. Il y a bien des semis, mais leur développement est très lent (les arbres atteignant 75 cm de tour que vers 85 ans) et c'est avant tout aux rejets qu'il faut faire appel pour régénérer ces forêts (**LETREUCH B ,1991**). L'âge d'exploitabilité dépendra de la nature des produits que l'on voudra retirer (perches, bois de mine, du combustible ne nécessitant que des bois de petite dimension 12 à 15 cm de diamètre). Il peut être fixé en moyenne à 50 ans (**BOUDY, 1952**). Les coupes seront faites à blanc, suivies d'une mise en défens de 10 ans, nécessitée par la lenteur de la croissance. Lors du recepage, il faudra réserver quelques sujets préexistants bien venants que l'on pourrait laisser croître pendant 2 ou plusieurs révolutions , de façon à obtenir des arbres susceptibles de fournir ultérieurement du bois d'ébénisterie, très recherché pour ses qualités.

Les opérations culturales se limiteront à pratiquer, vers l'âge de 20 ans des dégagements sur souches et ensuite des éclaircies dans les gaulis et perchis, très touffus en général.

En résumé, étant donnée la nature des peuplements, on aura ainsi à examiner d'après **BOUDY(1952) et LETREUCH B., (1991)**, les modes de traitements suivants :

1.6.2.1 Traitement en taillis simple :

Le mode de traitement normal du thuya est le taillis simple, on doit cependant s'efforcer d'avoir le plus grand nombre possible des sujets de franc pied, non pas pour obtenir de la futaie mais pour arriver avec le temps au renouvellement des vieilles souches.

Les forestiers dans le passé se sont trouvés dans la nécessité de refaire entièrement les peuplements ravagés par le feu et mutilés par l'homme, la coupe à blanc était alors le seul moyen de régénérer et même de sauver ces peuplements.

Les raisons de choix de ce type de traitement sont :

- La faculté de rejeter des souches
- Succès aléatoire de la régénération (sol et pâturage)
- Croissance lente des jeunes plantes
- Mauvais état des peuplements

Les opérations culturales consistent en une coupe de régénération et d'éclaircie. Les coupes de régénération seront effectuées à blanc et pratiquées à 60 ans, c'est à cet âge que le thuya est susceptible à fournir du bois de service (bois de mine..). On recèpera en même temps le sous-bois, et on dégagera les semis naturels.

L'une des principales causes du faible accroissement du thuya est l'extrême densité (1500 à 2000 sujets à l'hectare) des jeunes peuplements, il est donc indispensable de les dresser et de les aérer. Les éclaircies constituent donc une opération culturale indispensable dans le traitement du thuya. Pour ne pas trop découvrir le sol, en général très sec, on ne pratique qu'une seule éclaircie à 25 ans elle tiendra lieu de dépressage (500 à 600 sujets/ha), la seconde se confondant avec la coupe à blanc effectuée au terme de la révolution à 60 ans ou dans les cas les plus favorables à 50 ans.

1.6.2.2 Traitement en taillis sous futaie :

Le régime de taillis simple avec coupe à blanc, présente l'inconvénient de faire disparaître toute possibilité d'avoir du bois d'œuvre de dimensions suffisantes.

Si l'on veut disposer du bois d'œuvre du thuya il convient d'envisager un mode de traitement permettant de laisser sur pied des arbres au-delà de 60 ans et jusqu'aux 150 ans, âge auquel ils peuvent atteindre la dimension de 0.40 à 0.50 m de diamètre .On doit pour cela, recourir à la méthode du taillis sous futaie

Le nombre de tiges à réserver à cet effet à chaque révolution de taillis à 60 ans, dépendra de l'état du peuplement et de la croissance. Il serait sans intérêt d'essayer d'élever des réserves dans des boisements trop pauvres et de végétation médiocre. Il faut réserver le taillis sous futaie aux meilleurs peuplements à végétation vigoureuse, aux meilleurs sols, de façon à obtenir du bois d'œuvre vers 150 ans. Le nombre de réserves est de 30 à 40 par hectare selon la situation écologique du peuplement

En définitive, étant donné l'utilisation économique du thuya, le traitement du taillis sous futaie doit être pratiqué toutes les fois qu'il sera possible et le taillis simple sera réservé aux peuplements médiocres ou mal venants.

1.6.2.3 Autres types de peuplements :

Le thuya a des capacités a formé des peuplements purs, mais il peut se trouver mélangé avec d'autres espèces tel que le pin d'Alep, le chêne vert, le chêne liège et l'olivier, il difficile d'envisager un traitement régulier, il s'agit de favoriser le développement de cette essence au détriment des essences secondaires.

1.7 Les associations du thuya :

Les anciennes observations de **BOUDY (1952)** précisent que le thuya forme des peuplements purs, mais parfois on le trouve mélangé avec le chêne liège, le chêne vert, et/ou le pin d'Alep. Trois espèces résistantes à la sécheresse sont présentes dans le sous-bois des tétraclinaies, il s'agit de la lavande à feuilles dentées (*Lavandula dentata*) une germandrée de la section pollium (*Teucrium pollium sensu lato*), et les cistes (*Cistus villosus*, *Cistus monspeliensis*...) (**LETREUCH B, 1991**).

Des études récentes menées par **FENNANE (1982-1988)** et **BENABID (1982)** au Maroc, **ALCAZAR (1982)**, **BENABDELLI (1992)**, **HADJADJ AOUAL (1988-1995)** et **MEDJAHDI (2010)** en Algérie ont contribué à l'actualisation des données concernant la flore de l'oranie.

BENABDELLI (1992), signale que le cortège floristique fidèle à l'association du thuya est composé essentiellement de : *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Calycotome intermedia*, *Rosmarinus officinalis*, *Rosmarinus tournefortii*, *Teucrium pollium s.l.*, *Golobularia alypum*, *Cistus sp.*

FENNANE (1988), mentionne que les tétraclinaies du Maroc septentrional et oriental se rattachent à deux classes différentes : Classe des « *Quercetea ilicis* » pour les associations pré-forestières et classe des « *Onido-Rosmarinetea* » pour les peuplements à thuya dans les matorrals généralement à base d'Alfa.

La hiérarchie syntaxonomique des associations observées par **HADJADJ AOUAL (1995)**, rattachent les peuplements de thuya en Algérie à deux classes : classe *Quercetea ilicis* et classe *Rosmarinetea officinalis*.

Au sein de la première classe 13 associations ont été décrites et se rattachant à deux ordres à savoir l'ordre de *Quercetalia ilicis* et l'ordre de *Pistatio-Rhamnetalia alaterni*.

Les groupements de matorrals arborés se rattachent à la classe *Rosmarinetea officinalis*, dans cette classe 07 associations ont été décrites et sont rattachées à l'ordre des *Cisto mauritanici-Thymetalia mumbyani*.

L'étude menée par MEDJAHDI (2010), sur les monts des Trara a permis de définir des dizaines d'associations correspondant au principal faciès de la tétraclinaie et ces stades de dégradation.

Tableau 01 : Les associations du thuya dans les Monts des Trara

N°	Associations	Habitat
01	<i>Calycotomo intermediae-Tetraclinitum articulatae lavandulosum stoechadis</i>	Matorral à Thuya, calycotome et lavande stoechas
02	<i>Calycotomo intermediae-Tetraclinitum articulatae oleetosum sylvestris</i>	Matorral à Thuya, calycotome et olivier
03	<i>Calycotomo intermediae-Tetraclinitum articulatae pinetosum halepensis</i>	Matorral à Thuya, calycotome et Pin d'Alep
04	<i>Erico arboreae-Myrtetum communis</i>	Maquis à Bruyère et Myrte
05	<i>Erico arboreae-Quercetum cocciferae</i>	Matorral à chêne liège
06	Matorral bas claires à <i>Pistacia lentiscus</i> et <i>Arisarum vulgare</i>	Fruticée à lentisques et arisarum vulgar
07	Reboisement de Pin d'Alep	Matorral à Pin d'Alep ou plantation de Pin d'Alep
	<i>Periploco laevigatae-Tetraclinitum articulatae</i>	Matorral à Thuya et Peripoloca
08	<i>Cisto monspeliensis-Lananduletum dentatae</i>	Garrigues à calycotome et <i>Lavandula dentata</i>
09	<i>Saturejo fontanessi- Lananduletum dentatae</i>	Garrigues à <i>Lavandula dentata</i> et <i>Saturja fontanesii</i>
10	<i>Lavandulo dentatae-Ericetum multiflorae</i>	Landes à garrigues à <i>Erica multiflora</i> et lavande
11	<i>Rhamno rotundifolii-Juniperetum turbinatae</i>	Matorral arborescent à <i>Juniperus lycia</i>
12	<i>Rosmarino tournefortii- Tetraclinitum articulatae</i>	Matorral à Thuya et Romarin
13	<i>Tetraclino articulatae-Phillyreetum latifoliae</i>	Matorral à Thuya et Filaire

Source : MEDJAHDI (2010)

1.8 Facteurs de dégradation du thuya :

Les paysages végétaux actuels de l'Oranie assez particuliers par leur physionomie, leur structure et leur composition ne peuvent trouver une explication à leur état que par l'impact de l'action anthropozoogène. L'homme est directement responsable, par ses différentes interventions dans ce milieu de cette situation, puisque la plupart du temps par son

imprévoyance et sa méconnaissance de l'écosystème forestier il provoque des altérations souvent irrémédiables (**BENABDELLI, 1996**).

L'aire du thuya a fortement régressé sous l'effet de l'action anthropique. Il aurait occupé, en Algérie en 1950, une superficie de 161 000 ha, actuellement il s'étend sur un peu plus de 141 000 ha (**MAATOUG, 2003**). Toutefois, il convient de signaler que les écosystèmes à thuya offrent une grande résilience qui leur permet une restauration rapide après toute perturbation non exagérée. Le thuya réagit par une régénération naturelle, qui se produit aisément si les conditions écologiques le permettent, et il rejette vigoureusement de souche lorsqu'il est coupé (**H.C.E.F.L.C.D, 2013**).

Les incendies de forêt provoqués par diverses causes, d'origine essentiellement anthropique, l'irrégularité de la régénération naturelle par semis suite à la sécheresse et l'insuffisance des précipitations, leur disparition progressive et l'impossibilité de pratiquer une sylviculture rationnelle sous l'effet de la pression anthropique sont des processus très actuels. Les facteurs en cause sont le surpâturage, la surexploitation du bois et l'utilisation des forêts comme réserve de terres de culture (**H.C.E.F.L.C.D, 2013**).

Dans ce contexte, **BENABID (1984)**, signale que les principaux problèmes qui sont à l'origine du déclin des formations à thuya sont :

- **Le pâturage en forêt :** le pâturage est à la base de l'économie locale dans de nombreuses régions. En effet, dans les deux zones d'études qui sont d'ailleurs des zones montagneuses, où les cultures sont limitées dans le temps et dans l'espace, l'élevage constitue la première, et pour certains foyers, la seule ressource agricole. Or, de toutes les espèces animales composant le bétail, la chèvre est la plus rustique et la mieux adaptée aux conditions écologiques, mais, aussi la plus dangereuse puisqu'elle se nourrit, essentiellement du feuillage coriace des arbres et arbustes.

Le problème du pâturage en forêt reste, pour de nombreux pays du pourtour méditerranéen, l'une des préoccupations fondamentales des aménagistes sylvo-pastoraux.

Ainsi le pâturage agit de deux manières sur la régénération, d'une part il participe au tassement du sol ce qui compromet l'ancrage des racines des semences. D'autre part le troupeau broute les jeunes semis encore tendres et décapite les bourgeons terminaux des jeunes plants ce qui bloque leur croissance en hauteur.

A ce propos **SIMONE (1997)**, souligne que conjointement au déboisement, cette charge pastorale n'a fait que renforcer le déséquilibre créé en empêchant les jeunes repousses et les rejets de se développer (broutement et piétinement).

- **Défrichements et coupes illicites :** les peuplements forestiers subissent des mutilations, des coupes défectueuses, ou carrément, des défrichements qui sont perpétrés par les populations riveraines en vue de satisfaire leurs propres besoins. En effet, le thuya de Berbérie est une essence forestière ayant subi d'importantes mutilations, la récolte de la gomme sandaraque était pratique courante et assurait les revenus de la population riveraine jusqu'au XXe siècle avant d'être complètement interdite aujourd'hui. Par ailleurs, le commerce du thuya, travaillé en marqueterie principalement mais aussi en ébénisterie, a pris une ampleur sans précédent. Le bois de souche (loupe) beaucoup plus noble que le fût est bien entendu plus recherché. D'où l'impossibilité pour certains sujets de rejeter (**SIMONE, 1997**). La destruction est efficacement assurée.

- **Incendie de forêts :**

Comme le soulignait **BENABDELLI (1983)**, parmi les agressions que subit la forêt de l'oranie, l'incendie est le plus grave non seulement il peut entraîner la destruction totale de la végétation mais il altère le sol, enlaidit le paysage et compromet souvent la reconstitution végétale. Les causes de déclenchement de l'incendie ont des origines humaines (malveillance, imprudence, travaux forestiers...), biologiques (nature de sous bois), et climatiques (sécheresse, déficit en eau et l'élévation de la température).

LAGARD (1973), note dans ce contexte : « Les incendies de forêts sont dus dans leur quasi-totalité à l'inflammation des déchets végétaux du sous-bois. Pour que ces déchets s'enflamment ils doivent avoir atteint un certain degré de sécheresse ».

Les incendies ont endommagé au cours des deux dernières décennies, une superficie moyenne de 557.20 ha/an dans les monts de Tlemcen et 123.40 ha/an dans la commune de Honaine, dont le thuya était parmi les essences les plus touchées.

Cependant il est à noter que cette formation est encore plus robuste et vivace, elle se défend mieux vis-à-vis de l'incendie grâce à son exceptionnelle faculté de rejeter et de créer des taillis denses.

- **Absence des traitements sylvicoles :** la connaissance de la signification écologique des écosystèmes forestiers, de leur structure dans les conditions optimales et de

leur dynamique, s'avère fondamentale pour définir les principaux axes des traitements sylvicoles (BENABID, 1984).

En absence d'une culture adéquate, les peuplements de thuya ne cessent de se dégrader de plus en plus. Les aménagements forestiers réalisés ont un but de protection et non d'exploitation, du moins pour le moment. Le milieu montagnard reste très vulnérable et toute nouvelle atteinte à son couvert végétal correspondrait à un déséquilibre supplémentaire.

- **Ennemis d'origine animale :**

Le thuya est attaqué par plusieurs insectes : le bois est miné par de nombreux coléoptères, dont les principaux sont: *Icosium tomentosum* H. Luc qui hâte la mort des arbres dépérissants ou âgés, *Phlaeosinus bicolor* destructeur des petits rameaux, *Sinoxylon sexdentatum* Ol mineur des petites branches. Le feuillage est brouté par plusieurs chenilles de lépidoptères : *Taragama repandum* HB., *Litophane leautieri* Boisd., *Boarmia rungsi* Warn., *Pachypasa lineosa* Vill., ...etc. Les cônes sont détruits (semence comprise) par la chenille du Lépidoptère *Tortricide Evetria tessulatann* Strg. Des pucerons, *Panimerus thuyae* DE GEER, *Panimerus thuyaefoliae* Theo., et plusieurs cochenilles, *Carulaspis visci* Schr., *Lineaspis striata* Newst., *Carulaspis atlantica* Lind., provoquent des dessèchements des pousses et du feuillage (IONESCO et SAUVAGE, 1970).

1.9 Productivité du thuya :

En Algérie, le problème pastoral, les incendies et les défrichements constituent une véritable menace pour le thuya, pour cette raison les peuplements dépassent rarement le stade de taillis, ainsi la productivité de cette essence qui joue un rôle très important dans l'armature forestière reste sous estimée.

Les études de la productivité du thuya sont très peu nombreuses, quelques estimations ont été données par BOUDY (1952), BENABID (1976) et ACHHAL et al (1985) au Maroc, ZAIDI (1988) et HADJADJ AOUAL (1995) en Algérie.

1.9.1 Accroissement en hauteur :

L'accroissement en hauteur du thuya dépend des facteurs écologiques, de l'âge, de la densité du peuplement et de la concurrence avec les autres espèces végétales et même entre les brins de cépée. Sur un peuplement recepé du Jbel Amsitten, BENABID (1977), estime que l'accroissement est maximum sur les sols profonds et riches, il est de l'ordre de 20 cm par an

jusqu'à 30 ans et de 15 cm jusqu'à 50 ans. Il diminue avec l'âge, la densité et les conditions de milieu.

Ces observations rejoignent globalement celles de **BOUDY (1952)**, avec des accroissements de 20 cm par an jusqu'à l'âge de 25 ans, et de 10 cm jusqu'à 60 ans. A partir de cet âge l'accroissement continu à diminuer.

Ces chiffres sont observés dans des peuplements naturels, alors que dans des peuplements artificiels (Arboretum de Tenira), **HADJADJ AOUAL (1995)**, signale un accroissement en hauteur de 30 cm en phase de jeunesse, au-delà de cette valeur l'accroissement ralenti (17 cm).

1.9.2 Accroissement en diamètre :

Toujours dans l'Arboretum de Tenira, **HADJADJ AOUAL (1995)**, signale que l'accroissement en diamètre varie entre 0.44 mm par an (valeur minimale) et 6.4 mm par an (valeur maximale), il est de l'ordre de 2.6 mm par an en moyenne.

Ces valeurs sont de même ordre de grandeur que celles données par **BOUDY (1952)**, qui donne 4 mm par an jusqu'à 25 ans et 1.5 à 2.5 mm jusqu'à 60 ans.

De même manière que l'accroissement en hauteur, l'accroissement en diamètre est rapide durant les trois premières décennies, puis diminue jusqu'à 60 ans et s'atténue encore plus tard.

1.9.3 Accroissement en volume :

BOUDY (1952), estime sur des coupes à blanc effectuées au niveau du Jbel Amsitten que l'accroissement en volume est de 0.66 m³/ha/an dans les mauvais sols, alors qu'il est de 1m³/ha/an dans une tétraclinaie normale.

BENABID (1977), constate à son tour que le thuya fournit le maximum de rendement dans le milieu où il lui est le plus favorable. Il estime un accroissement en volume de 1.38 m³/ha/an dans des placettes riches à sol profond.

Les résultats obtenus par **HADJADJ AOUAL (1995)**, concernant l'accroissement en volume dans l'arboretum de Tenira donnent un volume de l'ordre de 0.99 m³/ha/an.

La comparaison des résultats obtenus par **HADJADJ AOUAL (1995)**, dans des peuplements artificiels, et les observations de **BOUDY (1952)** dans des peuplements naturels, nous amène à conclure que dans les tétraclinaies naturelles qui ne bénéficient pas d'entretien et de traitements sylvicoles, le nombre de tiges par hectare augmente et le rendement en volume diminue.

1.10 Importance économique du thuya :

L'espèce trouve essentiellement sa place dans l'activité artisanale surtout maghrébine qui joue un rôle économique et social crucial. Le bois du thuya est un bois résineux parfait, rouge, très lourd, dégageant une odeur vive (LAPIE et MAIGE, 1914). Il fournit un excellent bois d'ébénisterie et de menuiserie fine, dur et supportant assez bien l'écrasement, il est même utilisé comme bois de chauffage (BOUDY, 1950).

Les madriers et loupes constituent le bois d'œuvre destiné à la production d'objets artisanaux. L'utilisation de façon traditionnelle et irrationnelle, en marqueterie, de ce type de bois rend son approvisionnement de plus en plus difficile (KHATTABI, 1997).

Le bois de service comprend les perches et les perchettes destinées généralement à la construction d'habitat (toiture) en milieu rural et en agriculture, le bois de feu assure le chauffage et la production du charbon (EL ALAMI, 2013).

Le bois de la loupe de thuya est très apprécié par les artisans pour la marqueterie, l'ébénisterie et pour la production d'articles variés (CHAKIR, 1999). Le bois de la loupe diffère du bois normal par sa structure, son aspect esthétique induit par la présence des excroissances, et des cernes de croissances plus larges qui semblent possédant une symétrie locale. En effet, les cernes de croissance à l'intérieur de la loupe montrent des cernes plus larges que ceux du reste de l'arbre (EL ALAMI, 2013).



Figure 5 : La loupe de thuya (EL ALAMI, 2013).

Le goudron végétal , préparé par distillation des racines, et du collet, est utilisé en pharmacie vétérinaire (BENABID, 1976).

La Tétracline a un rôle important aussi dans la production de miel, car elle est riche en lamiacées (*Thymus subsp*, *Artemisia subsp*, *Lavandula subsp*, ...etc). Elle permet un rendement élevé en nectar, ce qui donne au miel qui en résulte une excellente qualité.

Le thuya présente également un grand intérêt pour les reboisements des terrains médiocres, c'est une essence locale qui s'accommode au climat sec déshérité, très rustique et offre le grand avantage de rejeter de souche (**BOUDY, 1952**).

Il convient dans les travaux de défense et de restauration des sols (D.R.S), du fait qu' il peut s'accrocher à même la roche sur les pentes les plus fortes, grâce à son système racinaire sére et pivotant (**AYACHE, 2007**). Au Maroc, le thuya joue un rôle considérable dans la protection des sols. En effet, cette espèce constitue des peuplements bien venants dans des conditions très difficiles comme celle des dunes d'Essaouira (**DREF,2002**).

Les populations locales utilisent cette essence dans la médecine traditionnelle en raison de ces multiples effets thérapeutiques, les différentes parties de l'arbre, particulièrement les feuilles et les rameaux sont connues par leurs propriétés sudorifiques, diurétiques et antirhumatismales, ils sont aussi préconisés dans les traitements des infections intestinales, les maladies respiratoires, le diabète, l'hypertension et les fièvres infantiles (**BOURKHISS et al , 2016**).

Chapitre 2 :
Estimation de la productivité forestière

2.1 Introduction :

La productivité revête à plusieurs égards une importance considérable en matière d'aménagement des forêts. Sa détermination est une condition essentielle au choix judicieux des essences, à la justification de leur localisation et à l'estimation de la production ligneuse. C'est aussi un élément-clé dans l'appréciation du développement des peuplements. La notion de productivité ou de «capacité de production » est étroitement liée à la notion de «station» **(RONDEUX, 1999 ; MASSENT J.Y; 2010).**

La station, pour le gestionnaire forestier, s'identifie généralement à une étendue de forêt homogène (conditions écologiques et peuplements), sur laquelle il peut pratiquer la même sylviculture et peut espérer obtenir une même production **(LETREUCH B , 1995 ; RONDEUX, 1999).**

Il est évident pour les régisseurs forestiers que la possibilité d'estimer le volume des arbres et des peuplements et de prédire ce que la forêt produira selon les stations et en fonction des différents types de traitement sylvicole est indispensable à tout processus rationnel de planification forestière. Il y a cependant une diversité considérable d'opinions à propos du concept de "production", des façons de l'estimer et d'en prédire l'évolution **(ALDER, 1980).**

Dans le domaine de la productivité, les études sont nombreuses **(PARDE, 1957, 1967; DECOURT, 1966, 1969 et 1973 ; LEMOINE, 1969 et 1982 ; GARBAYE et al, 1970 ; SOULERES, 1975 ; YI, 1976 ; OTTORONI, 1981 ; M'HIRIT, 1982 ; TOTH et al, 1981; COUHERT et DUPLAT, 1993 ; THIBAUT et al, 2002 ; SGHAIER et al, 2002 ; KHERCHOUCHE, 2003; BENTOUATI, 2006 ; CHARRU et al, 2010 ; VENNETIER et al, 2010 ...).**

Nous allons ainsi aborder dans ce deuxième chapitre, le concept de productivité, en faisant appel à quelques généralités. Ensuite nous envisagerons, successivement, les principales méthodes directes et indirectes d'estimation de la productivité. Enfin nous aboutirons à l'élaboration de courbes de productivité et la modélisation de la croissance et de la productivité.

2.2 Notion de productivité :

Dans le contexte dendrométrique, nous assimilerons la productivité à la vitesse de production de la phytomasse. En d'autres termes c'est la capacité de production d'une essence dans un milieu forestier. Elle varie avec les conditions de la station **(RONDEUX, 1999 ; LETREUCH B ,1998).**

Les concepts de productivité et de fertilité ont été définis par plusieurs auteurs (**DECOURT, 1966 ; RONDEUX, 1977-1999 ; M'HIRIT, 1982 ; DREYFUS et al, 2001 ; BENTOUATI et al, 2005 ; et BONTEMPS ; 2012**).

On confond souvent dans la littérature forestière entre « productivité » et « fertilité ». La notion de fertilité intègre généralement l'effet des différents facteurs de production, qu'ils appartiennent à la station, à l'espèce ou au traitement. C'est-à-dire la fertilité étant l'aptitude d'une station à fournir une production. La productivité à trait plus particulièrement au milieu et à la station, elle peut être caractérisée par le volume total produit à un âge de référence (**M'HIRIT, 1982 ; RONDEUX, 1999 ; CHARRU, 2008**).

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

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

2.3 Objectifs d'estimation de la productivité :

ALDER (1980), note que si on veut comprendre pourquoi les méthodes de prévision de la production des peuplements forestiers sont très importantes, il est indispensable d'examiner de plus près à quoi peut servir cette prévision.

2.3.1 Aménagement forestier :

Une gestion forestière est efficace quand le traitement appliqué assure une évolution du peuplement telle que sa valeur économique et/ou sociale augmente plus vite que le coût actualisé du traitement (**ALDER, 1980**).

Toute coupe a une incidence plus ou moins grande sur l'avenir du peuplement sur pied : un taux de récolte trop élevé peut se solder par l'épuisement total de la ressource forestière, tandis qu'un prélèvement trop faible peut à la fois priver une communauté de ressources immédiates et réduire la capacité d'accroissement de la forêt. Il est évident que l'on ne peut décider rationnellement du traitement, de l'intensité et de la rotation des coupes, que si l'on est capable

de quantifier la réponse de la forêt à ces opérations. C'est-ce que vise les études d'accroissement et de production (**ALDER, 1980**).

2.3.2 Recherches sylvicoles :

La connaissance du tempérament d'une essence aide à choisir le type de modèle à utiliser pour représenter sa croissance. Dans les forêts complexes, cette connaissance permet de regrouper certaines essences sur des bases logiques. Les caractéristiques sylvicoles d'une essence suggéreront les caractéristiques du modèle correspondant, c'est-à-dire le choix des relations qui le constituent.

Inversement, on peut utiliser un modèle quantitatif, s'il est correct, pour tester des hypothèses sylvicoles et concevoir les traitements et dispositifs expérimentaux susceptibles de fournir des résultats intéressants (**ALDER, 1980**).

2.3.3 Recherche écologique et gestion de l'environnement :

Des modèles quantitatifs conçus pour prévoir l'accroissement et la production de peuplements forestiers peuvent contribuer à la recherche écologique et à la gestion de l'environnement de plusieurs façons (**ALDER, 1980**) :

- Un modèle forestier peut servir à déterminer la quantité de lumière parvenant au sol à différents stades du cycle de croissance.
- On peut assez facilement rendre un modèle forestier capable d'indiquer la biomasse et le taux de production du peuplement forestier.
- La connaissance de la période du cycle de croissance pendant laquelle le peuplement est accessible aux grands herbivores est très utile pour la gestion de la faune sauvage.

ALDER, (1980), signale que c'est vrai que les techniques utilisées en modélisation écologiques sont différentes des techniques de modélisation forestière, mais il y a cependant des points de contact entre ces deux méthodes :

- Dans les forêts hétérogènes, la composition en essences peut être modélisée par des techniques de dynamique des populations.
- On peut quantifier la mortalité, les altérations du bois ou les pertes d'accroissement dues à une maladie ou une attaque parasitaire d'étiologie connue, à l'aide d'un modèle de dynamique de population dans lequel l'information sur l'habitat est tirée d'un modèle forestier.

2.4 Appréciation de la productivité :

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

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

Si la première approche, qui consiste à isoler les "causes" postule essentiellement sur l'étude de facteurs telle que le climat, la topographie ou plus souvent le sol et ses propriétés, la seconde approche, destinée à isoler les effets, est plus nettement orientée vers l'étude de la végétation, qu'il s'agisse des plantes ou des espèces indicatrices (phytosociologie, étude floristique) ou des peuplements (volume, hauteur, accroissement et autres caractéristiques dendrométriques) (RONDEUX, 1999 ; LETREUCH B, 1995).

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

2.5 Méthodes quantitatives d'estimation de la productivité :

D'après RONDEUX (1977, 1999) ; M'HIRIT (1982), ABBAS (1983) et MIGLIORETHI (1987), les principales méthodes quantitatives d'estimation de la productivité peuvent être regroupées en trois types :

1. **Méthode dendrométrique directe** : le critère de productivité concerne la production totale de matière ligneuse, soit le volume total produit à un âge de référence, soit l'accroissement annuel moyen en volume à ce même âge.
2. **Méthode dendrométrique indirecte** : le critère de productivité est défini par une caractéristique dendrométrique en liaison étroite avec la production totale en volume.
3. **Méthode mixte (combinée)** : le critère de productivité résulte de l'association des caractéristiques dendrométriques et de diverses variables du milieu (sol, flore, topographie, climat, ...etc.). Cette tendance plus récente est une approche factorielle

reliant les facteurs du milieu et les paramètres dendrométriques par exemple la hauteur dominante à un âge donné. La végétation et la répartition naturelle des espèces qui la composent synthétisent très bien l'ensemble des conditions du milieu et expliquent d'une manière significative la variabilité de la hauteur dominante.

2.5.1 Méthodes d'estimation directes de la productivité :

Ces méthodes à caractère dendrométrique visent à estimer le volume total produit sur une station donnée et sur une période de temps donnée. Elles sont en principe les plus recommandables et sont applicables aussi bien en peuplements homogènes équiennes qu'en peuplement hétérogènes mélangés (RODEUX, 1999).

2.5.1.1 Productivité basée sur le volume :

La productivité basée sur le volume est l'expression dendrométrique la plus stricte de la production en milieu forestier. Ce critère est d'utilisation difficile compte tenu de l'âge de référence (100 ans) et des risques d'oubli et de la perte d'information (MASSENET J-Y, 2012).

En pratique, la méthode est basée sur la division de la production totale en niveaux de productivité pour des peuplements purs équiennes et de densités normales se développant dans un domaine de croissance donnée (CHARRU ; 2010 ; MASSENET J-Y, 2012).

2.5.1.2 Productivité basée sur l'accroissement moyen annuel total en volume :

La productivité peut s'exprimer par l'accroissement moyen en volume par rapport à un âge de référence. Cet accroissement est en relation directe avec le volume total des peuplements à structure équiennne (HAMILTON et CHRISTIE, 1971 ; DECOURT 1973 ; RONDEUX, 1999 ; MASSENET J-Y, 2012).

2.5.1.3 Accroissement périodique en volume :

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

2.5.2 Méthodes d'estimation indirectes de la productivité :

Comme nous l'avons déjà signalé le critère de productivité est défini par une caractéristique dendrométrique en liaison étroite avec la production totale en volume.

2.5.2.1 Utilisation de la hauteur dominante comme indicatrice de fertilité :

La hauteur atteinte par un peuplement homogène à un âge donné sur une station donnée est un bon indicateur de la productivité. C'est pourquoi la construction des courbes hauteur/âge correspondant aux différentes classes de fertilité constitue la première étape de la construction d'un modèle d'accroissement et de production.

La hauteur moyenne d'un peuplement étant généralement sensible, non seulement à l'âge et à la fertilité, mais aussi à la densité, on préfère définir la hauteur d'un peuplement par sa hauteur dominante, presque totalement insensible aux variations de la densité (**ASSMANN, 1970 ; ALDER, 1980 ; LANIER, 1986 ; RONDEUX, 1999 ; HERVE et al, 2000 ; BENTOUATI et al, 2005 ; BONTEMPS et al, 2005**).

La hauteur dominante peut être définie de plusieurs façons, mais la plus courante est la suivante : c'est la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare (**LETRECH B, 1994 ; RONDEUX, 1999 ; LEJEUNE et al, 2002**).

2.5.2.2 Relation entre la hauteur et la production totale :

Selon la loi bien connue d'EICHHORN (**EICHHORN, 19044**), valable initialement pour le sapin et confirmée pour d'autres essences par de nombreux auteurs tels que **ETTER (1949)** et **RONDEUX (1977)**, la production totale en volume d'une essence donnée, croissant en futaie sensiblement équiennne au sein d'une région climatiquement homogène, est essentiellement fonction de sa seule hauteur. Cela implique l'adoption de plusieurs hypothèses que l'on peut résumer comme suit: la relation entre la hauteur dominante et la production totale est indépendante de l'âge, de la station et de la densité du peuplement ou encore, dans une assez large mesure, du type, voire de l'intensité et des éclaircies pratiquées (**RONDEUX, 1999**).

2.5.3 Méthodes d'estimation mixtes de la productivité :

Selon **GOUBI (2011)**, cette approche factorielle peut se concevoir, en pratique, de la manière suivante :

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

Les méthodes mixtes sont nombreuses et certaines d'entre elles ont pour but de mettre en relation la hauteur dominante à un âge donné (ou bien un autre indice dendrométrique avec les facteurs de l'environnement). Le fondement de cette méthode réside entre autres dans l'intérêt de pouvoir estimer le site-index, c'est-à-dire la qualité dendrométrique du site, sans se livrer à une étude approfondie de l'ensemble des caractéristiques de peuplement, mais en tenant compte des caractéristiques environnementales (**ABBAS, 1983, GOUBI, 2011**).

Cette méthode permet d'améliorer la précision offerte par l'utilisation des seules variables dendrométriques. Elle est intéressante pour la construction de tables de production, car elle intègre la variabilité des relations entre le volume total et la hauteur dominante (**ABBAS, 1983**).

2.6 Construction d'un faisceau de courbe de fertilité :

Les données de base nécessaires à la construction d'un faisceau de courbes de productivité sont fournies par des placettes temporaires (portions de surfaces de quelques ares mesurés une seule fois et non matérialisées) ou bien par des placettes permanentes et semi-permanentes (mesurées à plusieurs reprises et matérialisées). Cette construction peut, aussi, se faire à l'aide des analyses de tiges sur un certain nombre de placettes représentatives des différentes fertilités rencontrées (**ALDER, 1980 ; LEGOFF, 1982 ; DUPLAT, 1986 ; BONTEMPS, 2007 ; CHARRU ; 2008**).

Les niveaux de productivité de référence correspondent généralement à des valeurs de hauteur dominante atteinte à un âge déterminé. Les classes de productivité sont presque toujours matérialisées par des intervalles égaux de hauteur dominante à un âge fixé. Selon **ALDER (1980)**, on peut les construire par des méthodes graphiques ou statistiques (régression) :

2.6.1 Méthodes graphiques :

Les étapes de la construction d'un faisceau de courbe de fertilité selon par la méthode graphique sont les suivantes :

- 1- Porter sur un graphique (hauteur-âge), les données recueillies sur des peuplements de l'essence étudiée. C'est la hauteur dominante qui est utilisée, et non pas la hauteur moyenne beaucoup plus dépendante de la densité. Une placette temporaire y sera représentée par un point, une placette permanente par une série de points reliés par des segments de droite.
- 2- Tracer ensuite à la main, dans le nuage de points, trois courbes représentant au mieux l'évolution moyenne suggérée par :

- ✓ les placettes du bord inférieur du nuage
 - ✓ la "tendance moyenne" du nuage
 - ✓ les placettes du bord supérieur du nuage
- 3- Si les données proviennent des placettes temporaires, on peut alors intercaler deux autres courbes, l'une entre la courbe supérieure et la courbe centrale, l'autre entre la courbe centrale et la courbe inférieure.
- 4- Le faisceau de courbes peut être traduit en équation. Les courbes elles-mêmes peuvent être numérotées en séquence, chacune représentant alors une classe de fertilité ou de productivité.

La simplicité de cette méthode de construction graphique des courbes de fertilité est évidente. Mais elle présente trois inconvénients majeurs (**ALDER, 1980**) :

- 1) Les courbes obtenues doivent beaucoup à la subjectivité de la personne qui les trace, surtout si les données sont peu nombreuses ou proviennent en majorité de placettes temporaires. Les faisceaux de courbes tracées par des personnes différentes à partir des mêmes données seront différents et représenteront la tendance réelle avec une incertitude et un biais plus ou moins importants.
- 2) Si l'on dispose d'une grande quantité de données les méthodes graphiques sont plus lentes que des méthodes statistiques utilisées à l'aide de l'ordinateur.
- 3) Si l'on a besoin de traduire en équation le faisceau de courbes obtenu (par exemple pour l'utiliser dans un programme d'actualisation d'inventaire ou de prévision de l'accroissement), on peut se trouver devant un travail aussi long que l'ajustement direct de courbes aux données par une méthode statistique.

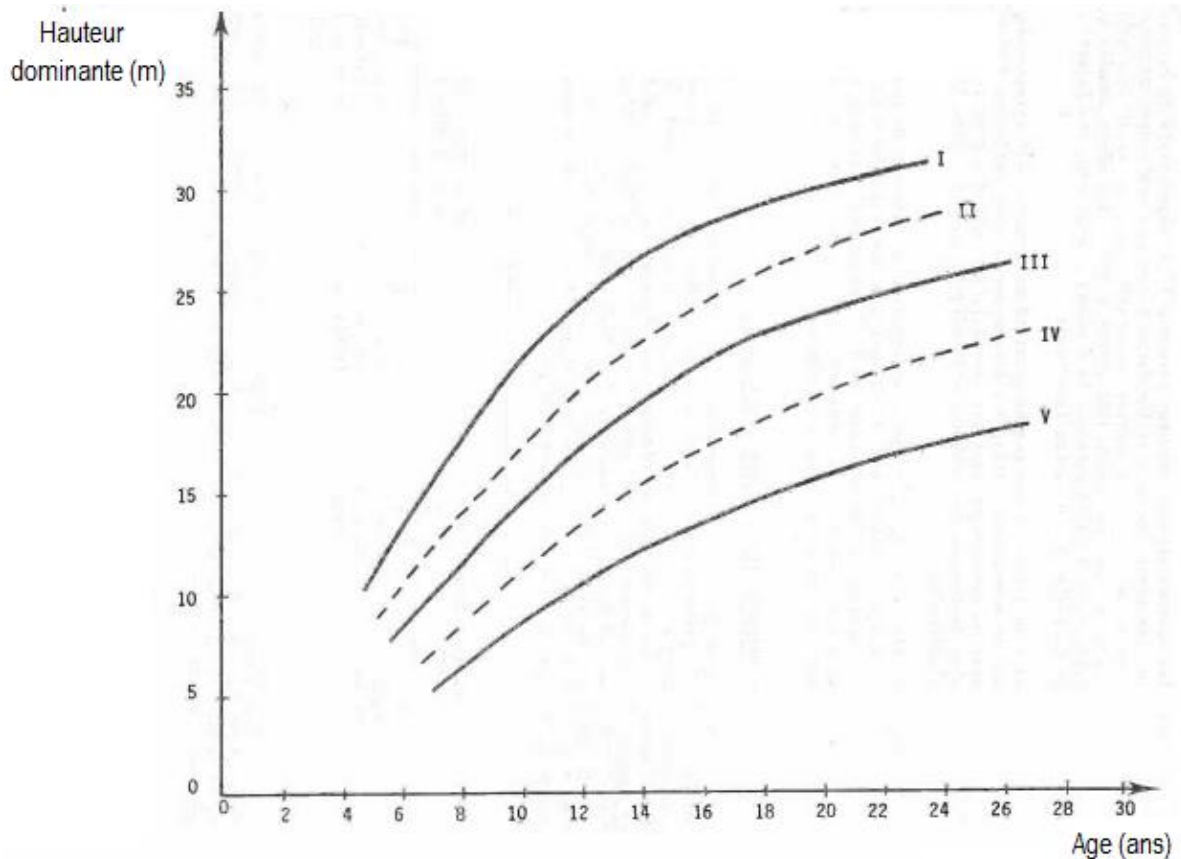


Figure 6 : Courbes de fertilité tracées par la méthode graphique (ALDER, 1980)

2.6.2 Méthodes statistiques :

On peut aussi utiliser, pour ajuster les courbes de fertilité, des méthodes mathématiques qui présentent des avantages considérables sur les méthodes graphiques. Il ne faudrait cependant pas croire que la précision des résultats ainsi obtenus est nécessairement plus grande que celle des résultats obtenus par méthode graphique ; elle dépend pour beaucoup de la bonne adaptation du modèle de croissance en hauteur choisi, ainsi que de la validité des hypothèses statistiques faites lors de l'ajustement des paramètres de ce modèle (ALDER, 1980).

Les méthodes statistiques d'ajustement sont selon RONDEUX (1999) et MASSENET (2012): les courbes affines, méthode du minimum-maximum, régression des séries sans indice de fertilité et régression multiple avec indice de fertilité a priori. La régression série est d'un point de vue statistique, la plus satisfaisante de ces quatre méthodes ; elle a aussi l'avantage de se prêter facilement au calcul manuel.

2.7 Modélisation de la croissance et de la productivité :

En matière de gestion forestière, il est important de prévoir la dynamique des peuplements ou encore de pouvoir contrôler leur évolution au cours du temps (RONDEUX, 1993).

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

La modélisation peut être considérée comme un outil ou une opération mathématique permettant de réduire un système complexe (la croissance d'un peuplement, par exemple), L'objectif de pareil outil est de mieux comprendre les phénomènes et de mieux analyser les systèmes de manière à prendre des décisions en limitant les risques d'erreurs (**STITI et al, 2008**).

Un modèle est une représentation simplifiée de la réalité : dessin, schéma, équation conceptuelle etc. D'après **GOREAUD (2000)**, un modèle est la représentation mentale d'un être du monde réel et de son fonctionnement. La modélisation ce n'est donc rien que la pensée organisée en vue d'une finalité pratique. Un modèle est une théorie avec une connotation pratique orientée vers l'action qu'elle doit servir.

ALDER (1980), le définit comme étant un jeu d'équations ou de courbes qui expriment les relations qui existent entre les variables qu'on y introduit. Construire un modèle est une opération qui consiste à réduire un système complexe en un système simple et aussi général que possible (**BOUCHON, 1982 ; FONWEBAN, 1995**).

Pour pouvoir prendre en compte la grande diversité des peuplements et des scénarios sylvicoles, les modélisateurs forestiers ont développé un grand nombre de modèles, statiques ou dynamiques, pour comprendre et prédire l'évolution des arbres et des peuplements.

En ce qui concerne la prédiction de la croissance des arbres, par exemple, on peut selon **HOULLIER et al (1991) et GOREAUD et al (2005)** ; distinguer, selon le niveau de détail souhaité :

- ✓ des modèles à l'échelle du peuplement, qui considèrent des variables moyennes du peuplement (comme la densité ou le diamètre moyen) ;
- ✓ des modèles de distribution, qui considèrent l'évolution du nombre d'arbres dans différentes classes de diamètre ;
- ✓ et des modèles à l'échelle de l'arbre, qui simulent l'évolution de chaque arbre individuellement ou au moins pour certains arbres types représentatifs d'une cohorte d'arbres ayant les mêmes caractéristiques.

2.8 Objectifs de la modélisation :

Un modèle est un outil qui doit répondre à des objectifs de compréhension, de communication ou de prédiction (**GOREAUD, 2000**).

La modélisation est un outil utilisé pour de multiples raisons :

- ✓ La modélisation de la croissance des arbres en mélange est une question scientifique particulièrement délicate, qui nécessite la prise en compte des processus d'interaction entre arbres (compétition pour la lumière et pour les ressources du sol : eau, nutriments).
- ✓ Pour répondre à une demande sociale croissante de conservation de la biodiversité et d'amélioration des paysages. Les forestiers doivent gérer des forêts mélangées, c'est-à-dire comportant des arbres d'espèces différentes (**OTTO, 1997**). Le mélange d'espèces pose des difficultés particulières, pour lesquelles il faut mettre en place des modèles spécifiques (**SPELLMANN, 1992**).
- ✓ Pour pouvoir gérer finement la production de bois en matière de taille des troncs à récolter, et de qualité du bois produit, les gestionnaires forestiers ont besoin d'outils qui prédisent l'accroissement individuel de chaque arbre du peuplement.
- ✓ Pour prédire l'accroissement individuel des arbres, les dendrométriciens construisent des modèles à l'échelle de l'arbre, qui prennent en compte l'influence des voisins directe sur la croissance par le biais d'indices de compétition (**HOULLIER et al, 1991**).
- ✓ La modélisation permet de simuler les effets de divers traitements sylvicoles ; les modèles rendent possible une comparaison rapide de plusieurs scénarios sylvicoles, ce qui aurait demandé auparavant de longues années d'expérimentation (**GOREAUD et al, 2005**).
- ✓ La modélisation réduit le nombre, la durée et le coût des essais expérimentaux, de ce fait l'utilisation de ces modèles permet d'analyser des données expérimentales et d'optimiser les expériences. Elle permet aussi de tester différents scénarios sans contrainte de faisabilité.

2.9 Relation modélisation - dynamique des peuplements :

L'apport de la modélisation dans les tentatives de compréhension du fonctionnement des peuplements forestiers est considérable. D'après **HOULLIER et al, (1991)**, la croissance des arbres et l'évolution des peuplements font partie des éléments que les

sylviculteurs souhaitent pouvoir quantifier en fonction d'un certain nombre de facteurs : milieu, matériel végétal utilisé, sylviculture appliquée, etc.

Les gestionnaires se posent habituellement deux types de questions complémentaires :

- Des questions du type « **que se passera-t-il si ...** » : elles apparaissent, par exemple, lorsqu'on cherche quelle va être la croissance d'un arbre après l'exploitation de ses voisins immédiats ou qu'on souhaite évaluer la perte de production globale liée à une faible densité de plantation.
- Des questions du type « **comment faire pour... ?** » : elles se posent, par exemple, lorsqu'on cherche la norme de sylviculture à appliquer pour obtenir des accroissements radiaux annuels bien précises, ou qu'on essaie de définir une séquence d'éclaircie qui maximise la production en volume ou en valeur de plantations à croissance rapide.

Les réponses attendues portent non seulement sur la croissance mais aussi sur la qualité des bois ; elles concernent non seulement les peuplements mais aussi les arbres. Il est ainsi clair que la sylviculture d'arbres de place et d'une manière plus générale, l'intensification des traitements pour certains types de peuplement posent des problèmes nouveaux qui requièrent des connaissances nouvelles, notamment sur les réactions individuelles des arbres aux traitements.

La figure 7 de **HOULLIER et al (1991)**, symbolise l'effort d'intégration et de synthèse des connaissances acquises pouvant être exploitées par la modélisation.

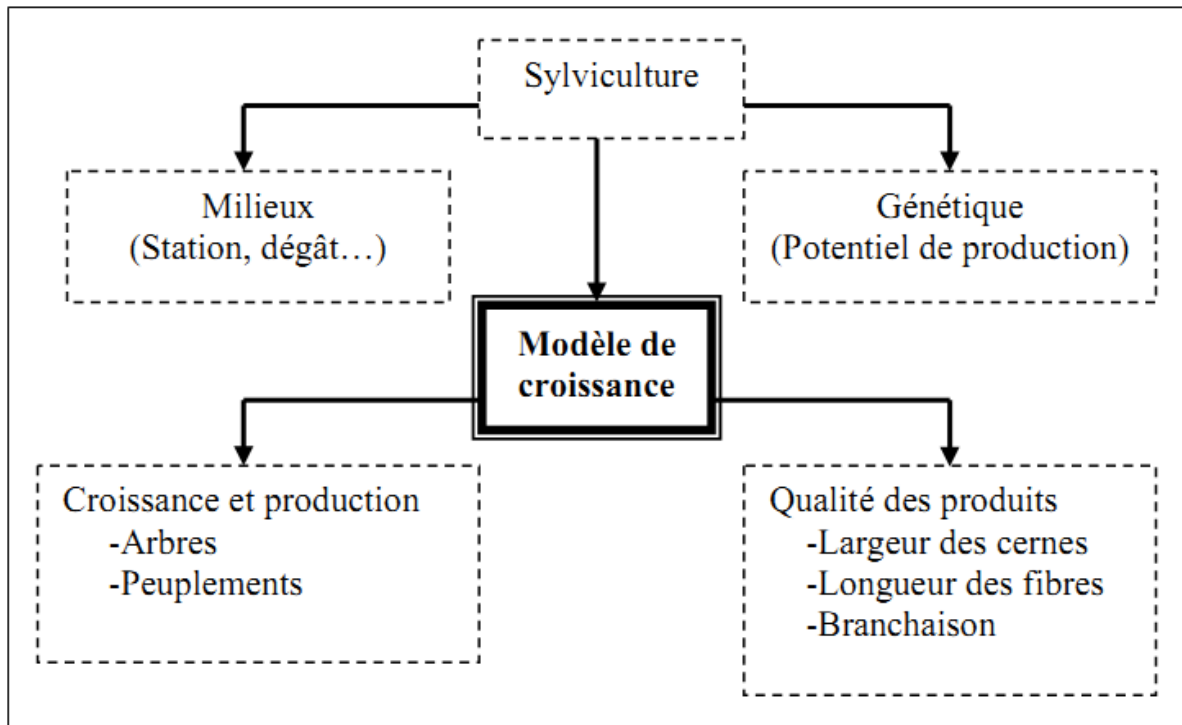


Figure 7 : Représentation des tentatives d'intégration et de synthèse des connaissances à travers de la modélisation (**HOULLIER et al, 1991**).

Sur le plan des « entrées » : le milieu est par exemple traduit par un indice de fertilité (liaisons station-production), la génétique par un indice de vigueur et la réaction aux traitements sylvicole représente le cœur du système.

sur le plan des « sorties » : la production totale des peuplements et la croissance individuelle des arbres constituent les principaux résultats auxquels s'ajoutent des informations qui permettent d'appréhender certains aspects qualitatifs (largeur de cerne, branchaison, ...).

Chapitre 3 :
Présentation de la zone d'étude

3.1 Introduction :

A l'ouest algérien, le thuya se cantonne exclusivement dans l'étage bioclimatique semi-aride à variante chaude, douce, et même fraîche pouvant se développer à une altitude maximale de 1400 m. Les conditions écologiques difficiles de la région permettent à cette espèce de se maintenir là où d'autres espèces ne sont présentes qu'à l'état de broussaille (**BENABDELI, 1996**).

Les tetraclinaies sont réduites aujourd'hui à des taillis de faible productivité ligneuse couvrant des zones souvent considérées comme dégradées ou marginales, néanmoins elles représentent des réserves réelles et un potentiel non négligeable en biomasse (**ACHHAL et al, 1985**).

Longtemps considérée comme une essence forestière sans grand intérêt, les écologues et les forestiers insistent aujourd'hui sur la place éminente qu'elle joue dans la structuration des paysages végétaux du Maghreb, mais aussi sur sa valeur forestière et économique (**MEDAIL et QUEZEL 2003, TERRAS 2008**).

Les Monts des Trara (région de HONAINNE) et les Monts de Tlemcen (région d'AIN GHORABA), cadres de nos études et faisant partie du domaine maghrébin-méditerranéen, se cantonnent dans le secteur oranais, du sous-secteur O3 (Atlas tellien), et ce, selon la subdivision biogéographique de l'Algérie du Nord d'après **QUEZEL et SANTA (1962-1963)**.

Au cours de ce chapitre afin de pouvoir évoquer convenablement les conditions dans lesquelles se développe le thuya, les points suivants seront développés :

- Le cadre géologique et lithologique
- le cadre édaphique
- caractérisation socioéconomique
- étude climatique

3.2 Situation géographique de la zone d'étude :

Comme le montre la figure 8, cette étude porte sur le thuya de la région de Tlemcen cantonné dans deux forêts, la première est celle d'AIN GHORABA (secteur intérieur) et la seconde de HONAINNE (secteur littoral), encaissée respectivement dans les Monts de Tlemcen et les Monts des Trara de l'Algérie occidentale.

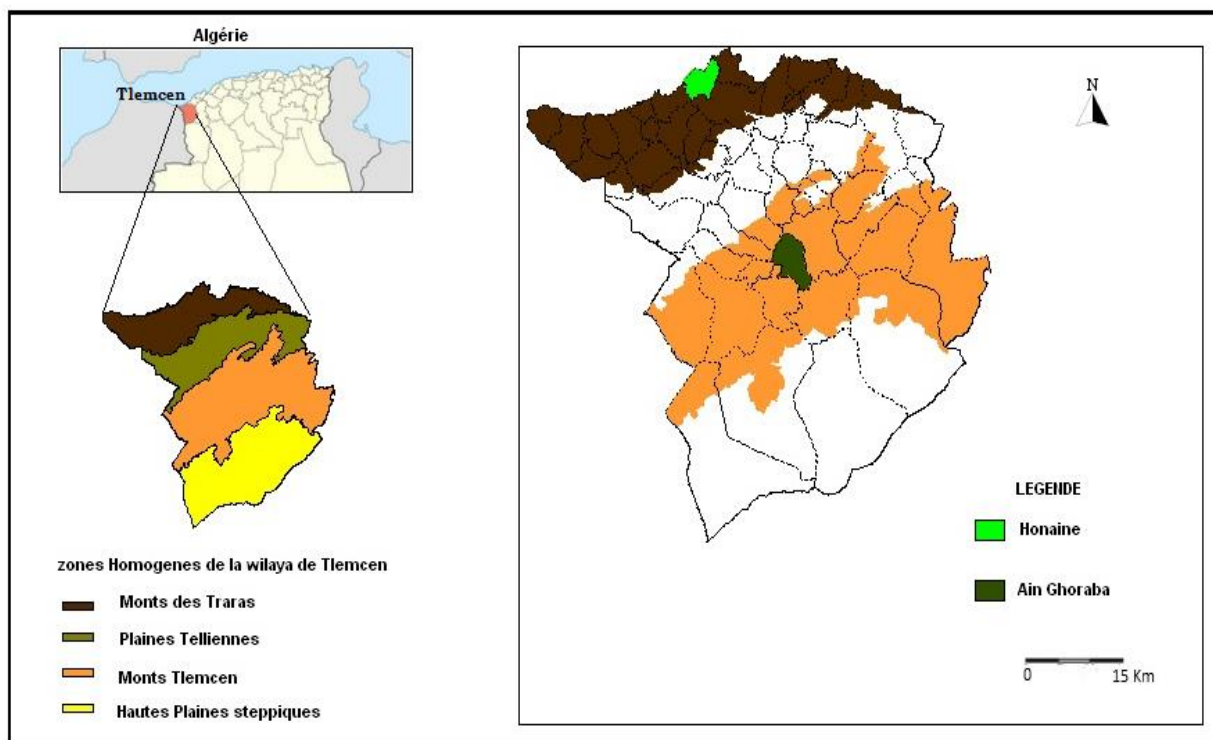


Figure 8 : Situation géographique de la zone d'étude

Les Monts des Trara disposent d'une façade maritime abrupte d'une longueur de 70 km et s'enfoncent sur 5 km à l'intérieur du continent. Les monts de Tlemcen, constituent par ailleurs le massif carbonaté karstifié le plus étendu du nord-ouest algérien, ils correspondent à un vaste horst de direction NE-SW et sont composés essentiellement de formations d'âge jurassique supérieur et crétacé inférieur (**LETREUCH, 2009**). Ces monts présentent des versants assez pentus et dissymétriques, les pentes dépassant parfois les 30% (**BENEST, 1985**).

3.3 Présentation de la région de HONAINE :

La région de HONAINE fait partie des Monts des Trara orientaux, elle se situe au nord-ouest de la wilaya de Tlemcen, caractérisée par un relief assez accidenté. Elle est située entre les coordonnées Lambert 35°10'35'' Nord et 1°39'18'' Ouest.

La région de HONAINE est limitée géographiquement :

- Au Nord par la mer Méditerranée ;
- Au Sud par la plaine de Maghnia, et les monts de Sbaa chiyoukh ;
- A l'Est par Beni Khaled et Beni Ouarsous ;
- A l'Ouest Dar Yaghmoracene



Photo n° 1 : Vue sur la forêt de Honaine

3.3.1 Géologie et lithologie :

Les données géologiques fournissent des indications précieuses sur la nature du substrat où se développe la végétation. Cette dernière répond d'une manière assez fidèle à la nature lithologique et aux formes géomorphologiques.

Les Monts des Trara appartiennent au domaine Riffien Tellien. Ce dernier représente la bande maritime la plus récente. Elle est marquée par sa complexité particulièrement accusée et se manifeste sur le terrain par des affleurements et des contacts anormaux, dus au charriage d'éléments rocheux qui ont été transportés sur de longues distances du nord vers le sud (**BERRAYAH,2006**).

GUARDIA (1975), a regroupé les diverses unités tello-rifaines en cinq ensembles bien distincts :

- ✓ L'autochtone et para-autochtone ;
- ✓ L'allochtone à affinité rifaine ;
- ✓ L'allochtone à affinité tellienne ;
- ✓ L'unité numidique ;
- ✓ Le complexe triasique.

Ce sont les principaux ensembles qui constituent le substratum géologique des monts des Trara. Chaque ensemble comporte des unités et chaque unité comporte des étages, de lithologie et de structure différente (MEDJAHDI, 2010).

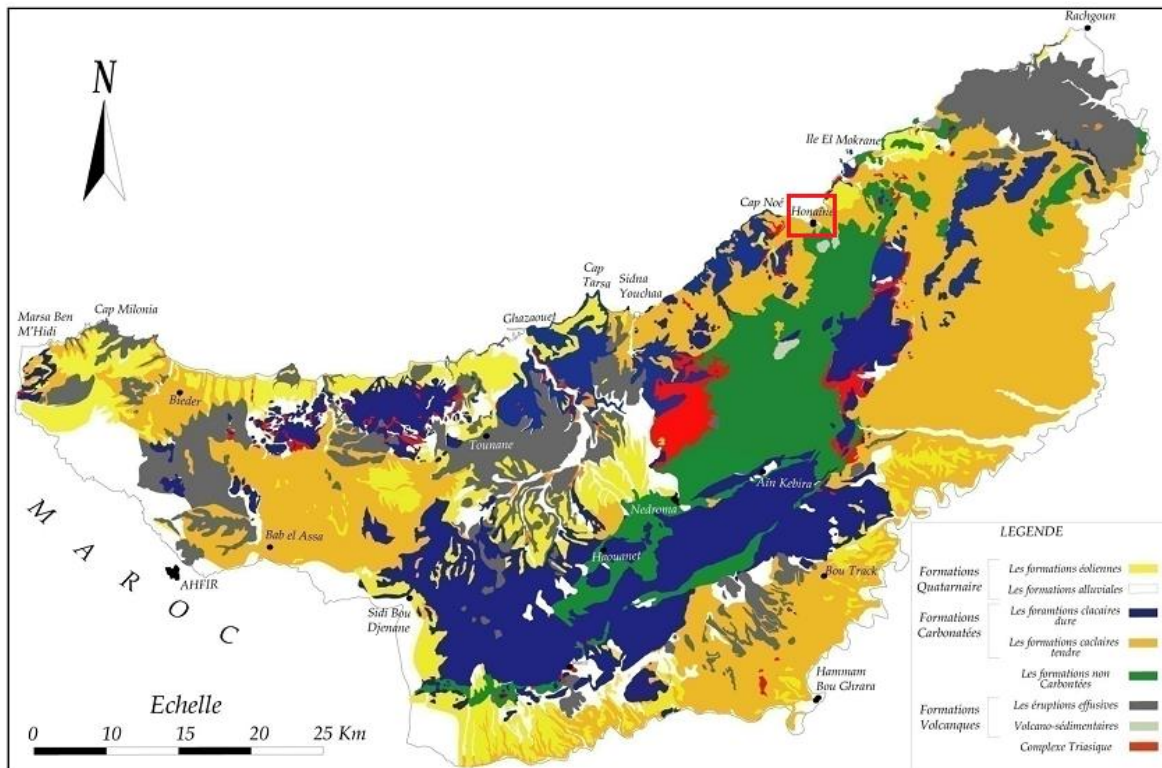


Figure 9 : Carte géologique des Monts des Trara (MEDJAHDI, 2010)

De son côté, Aimé (1991), a proposé de regrouper les différents substrats géologiques de l'Oranie nord occidentale en quatre groupes :

- ✓ Les formations carbonatées ;
- ✓ Les formations non carbonatées ;
- ✓ Les formations volcaniques ;
- ✓ Les formations quaternaires.

3.3.1.1 Les formations carbonatées :

Deux grands types se partagent la région et s'opposent essentiellement par la disponibilité des carbonates et par leurs caractéristiques mécaniques. Il s'agit d'une part des roches calcaires compactes (calcaires, dolomies) et d'autre part des roches plus tendres telles que les argiles ou les marnes (MEDJAHDI, 2010).

➤ **Les formations carbonatées compactes :**

Selon **MEDJAHDI (2010)**, les formations compactes occupent la plus grande partie entre le Cap Tarsa et Ghazaouet ; elles constituent l'essentiel des principaux sommets (Tadjera, Sidi Sofiane, Zendel). Il s'agit du calcaire jurassique de l'unité de Tadjera. Quelques formations de grès calcaires (miocènes ou pliocène) se rencontrent également dans la région de Mersa Ben M'hidi ainsi que quelques zones dolomitiques dans l'ensemble de la zone littoral.

Sur ces formations dures se développent essentiellement des sols jeunes de type rendzines calcaires. On peut trouver également des sols fersiallitiques, mais ils sont hérités, et le plus souvent en voie de recarbonatation.

Les calcaires durs constituent une formation à fort potentiel aquifère à cause des fissures et des chenaux qui absorbent les eaux de pluie jusqu'à des débits considérables. Les sources émergentes à ce niveau témoignent de son intérêt hydrogéologique.

➤ **Les formations carbonatées tendres :**

Les calcaires tendres, représentés essentiellement par les marnes et les argiles forment souvent les paysages de nombreux secteurs. Ils sont constitués essentiellement par des formations néogènes, c'est le cas du Sud du Cap Noé (marnes plus ou moins sableuses), bassin de Bab El Assa (marnes miocènes à bancs de grès) et les marnes du pied de Djebel Zendel (marnes miocènes à bancs de trias gypseux). Les calcaires tendres de la région Est, entre Honaine et El- Mokrane sont constitués principalement par des marnes miocènes et des marno-calcaires de l'unité d'El Mokrane (**SELADJI, 2004** et **MEDJAHDI, 2010**).

3.3.1.2 Les formations non carbonatées :

Les formations non carbonatées sont limitées et ne se rencontrent que dans la partie Est de Honaine et Beni Ouarssous en particulier. Il s'agit d'un massif schisteux primaire entrecoupé de passées conglomératiques. Il existe également quelques lambeaux de grès quartzeux, massif dans la région d'El Mokrane (commune de Honaine et de Beni khaled). Les sols qui se développent sont décarbonatés, souvent acides et fortement lessivés en surface. Il s'agit dans la plupart des cas de sols fersialitiques lessivés qui conditionnent l'existence de rares enclaves de végétation calcifuge de la région (**SELADJI,2004**).

3.3.1.3 Les formations volcaniques :

D'après **MEDJAHDI (2010)**, les formations volcano-sédimentaires ne se rencontrent que dans quelques lambeaux localisés autour de Honaïne. Ces formations résultent d'un comportement explosif lorsqu'un magma arrive en contact avec des terrains saturés en eau.

Ces terrains ont un comportement proche de celui des marnes, donnant des sols à tendance vertique. Pouvant aller jusqu'à la formation de véritables bad-lands. Ces formations peuvent aussi porter les traces d'anciennes phases de pédogenèse rubéfiante.

3.3.1.4 Les formations quaternaires :

Les terrains quaternaires fournissent des substrats diversifiés selon leur origine et leur dynamique. Il s'agit de deux grands types, les formations d'origine éolienne et les formations alluviales. Deux phénomènes se superposent localement sur ces formations avec d'une part des processus de confinement qui ont donné des accumulations calcaires (encroûtements) et d'autre part des phénomènes pédogénétiques qui se sont succédé à plusieurs reprises et qui ont donné naissance à de nombreux paléosols (**BENEST et al, 1991**).

➤ Les formations éoliennes :

Dans ce contexte, **MEDJAHDI (2010)**, signale que les formations éoliennes les plus récentes sont des dunes grésifiées, c'est-à-dire consolidées dans leur masse par le calcaire, elles proviennent directement du remaniement du sable, et sur certains sommets elles peuvent présenter une petite croûte feuilletée. Sous les dunes précédentes affleurent des dunes plus anciennes à croûte rose feuilletée de 50 cm d'épaisseur. Elles sont caractérisées par la présence de niveaux individualisés sableux, horizontaux et rubéfiés. Alors que les formations les plus anciennes sont caractérisées par la présence d'une carapace plus épaisse et plus résistante que les deux autres.

➤ Les formations alluviales :

Les formations alluviales sont représentées par des terrasses qui se rencontrent dans la vallée des oueds. Le matériel grossier y est très abondant, ce qui suggère un écoulement sous forme de crues torrentielles, liées à des débits importants (**OUADAH, 2009**).

3.3.2 Cadre édaphique :

Les études sur les ressources en sol dans les Monts des Trara sont peu nombreuses, les plus récentes sont celles de **KAZI TANI (1996)**, **BNEDER (1993)**, **MEDJAHDI (2001,2010)** et **BECAGROM (2010)**.

D'après **MEDJAHDI (2010)** ; **KAZI TANI et al (2015)**, les sols caractéristiques de la région manifestent une évolution type du climat méditerranéen à saisons contrastées : il s'agit de la fersiallisation. Les profils sont plus ou moins rubéfiés, le degré de rubéfaction est sous

la dépendance de trois facteurs principaux : l'âge du sol, la composition du matériau d'origine, le pédoclimat. Ces profils sont souvent associés à des accumulations calcaires plus ou moins consolidées. Mais ces sols d'origine ont subi de profondes transformations, d'une part par érosion, d'autre part par évolution pédologique. Cela a conduit au développement des grands types de formations pédologiques suivantes :

- Les sols rubéfiés
- Les accumulations calcaires
- Les autres sols

3.3.2.1 Les sols rubéfiés :

Les sols rouges sont très fréquents dans le bassin méditerranéen. Ils présentent une faible profondeur (souvent inférieure à 50 cm). Ils se développent sur des matériaux très variés depuis les plus calcaires jusqu'aux plus acides. Les propriétés de la roche-mère se conjuguent avec les caractéristiques du climat pour en expliquer la répartition géographique. Ainsi dans les régions méditerranéennes, on peut observer ces sols sous des climats d'autant plus secs que le matériau est filtrant et/ou acide (grés -schistes) et sous climat d'autant plus humide que le matériau est filtrant et / ou carbonaté (**DUCHAUFOR, 1983**).

D'autres descriptions des sols rubéfiés étaient apportées par **MEDJAHDI (2010)**, il note que les sols rubéfiés sont les plus évolués et les plus complexes ; ils sont le résultat de la superposition de deux pédogenèses. La pédogenèse ancienne est responsable de la décalcification, lessivage et la formation de l'horizon **Fs**, suivie par une pédogenèse actuelle ou subactuelle de dérubéfaction, d'appauvrissement superficiel et même d'érosion. Les caractères morphologiques acquis par la première sont durables, généralement ils ne sont pas éliminés mais simplement surimposés par les caractères liés à l'action de la deuxième.

3.3.2.2 Les accumulations calcaires :

La plupart des profils rubéfiés qui se trouvent au niveau des monts des Trara surmontent des niveaux calcaires plus ou moins consolidés. Ces accumulations peuvent être reparties de trois façons différentes selon **RUELLAN (1984)** :

- La distribution diffuse : le calcaire accumulé n'est présent que sous forme de particules fines.
- La concentration discontinue : le calcaire est concentré d'une façon visible en un certain nombre de points séparés les uns des autres par des zones moins calcaires.

- La concentration continue : c'est l'encroûtement dans lequel la concentration du calcaire fait disparaître les structures et les couleurs des sols au sein desquels elle se développe.

La faiblesse des précipitations dans cette zone est responsable en grande partie de la faible profondeur de la zone de battement du front d'humectation, au sein de laquelle se situent les alternances saisonnières d'humidification et d'assèchement sous l'influence des remontées capillaires et de l'évaporation (**BERRAYAH, 2006**).

3.3.2.3 Les autres types de sols :

Les fersiasols constituent le groupe de sol le plus évolué au niveau des monts des Trara. C'est à l'érosion qu'est due une grande extension des sols minéraux bruts, des sols peu évolués et dans un degré moindre les sols bruns calciques, les sols calcaires et les rendzines. **BERRAYAH (2006)**, signale que d'une manière générale ces sols peuvent être regroupés en deux classes principales :

1. Les sols peu évolués :

Ils correspondent aux affleurements des principales roches-mères. Ce sont des sols très minces, caillouteux qui ne présentent presque pas de solum (emporté par l'action mécanique de l'érosion). La végétation est très faible, voire inexistante.

2. Les sols calcimagnésiques :

Ils sont très abondants au niveau de la zone d'étude en raison de la forte présence des roches calcaires et l'action active de l'érosion. Les profils sont riches en matières organiques bien incorporés mais peu évoluée (**DUCHAFOUR, 1983**).

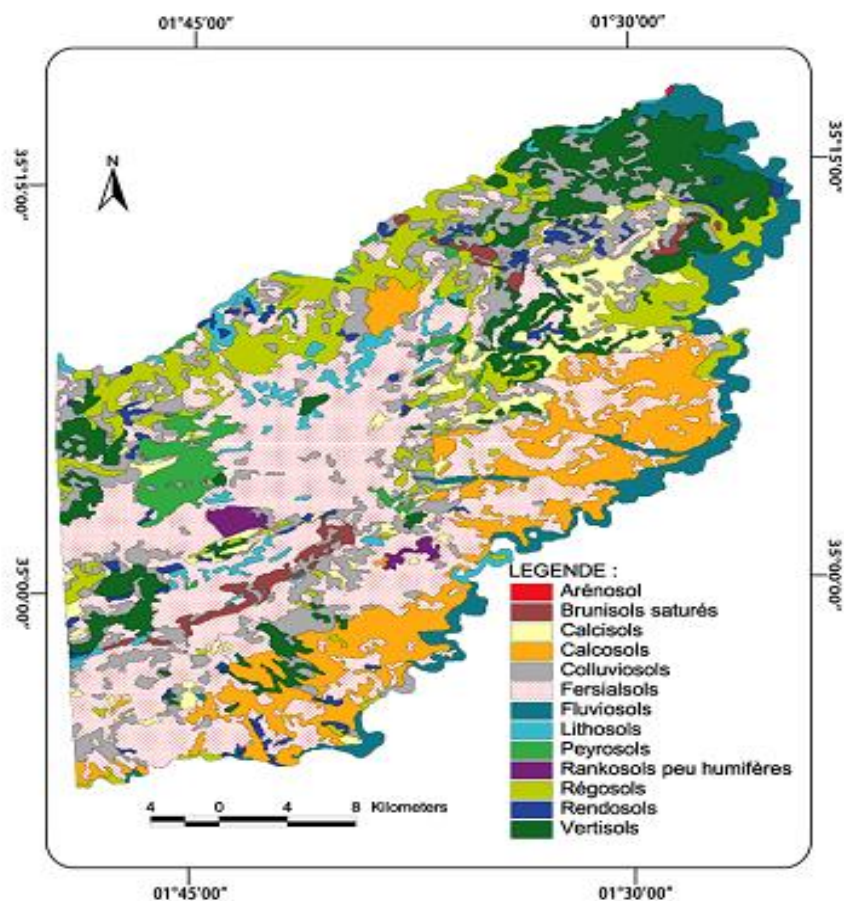


Figure 10 : Carte des sols des Monts des Trara (**KAZI TANI et al, 2015**)

3.3.3 Hydrographie :

La disposition du relief et l'abondance des roches imperméables ont combiné leurs effets, et ont permis la naissance d'un réseau hydrographique très important. Aux principaux oueds, vient s'ajouter un grand réseau de chaâbats dont l'origine est souvent les pluies orageuses et quelques fois les sources (**MEDJAHDI, 2010**).

BOUAMAEUR, (2006) et **MEDJAHDI et al (2009)**, signalent que le réseau hydrographique des Monts des Trara présente une série de bassins disposés parallèlement le long du littoral. Cette hydrographie procure aux Trara une position exceptionnellement stratégique du point de vue phytogéographique. L'encaissement des oueds mais surtout l'absence de grands affluents traversant les Trara Sud-Nord et la disposition parallèle de son réseau hydrographique sont très favorables à l'endémisme. En effet, les Oueds de cette partie du littoral sont complètement isolés jouissant d'un climat particulièrement humide sous l'effet conjugué de la topographie, de l'exposition et de l'influence marine. Cela permet le développement d'une végétation exceptionnellement luxuriante et très riche taxonomiquement.

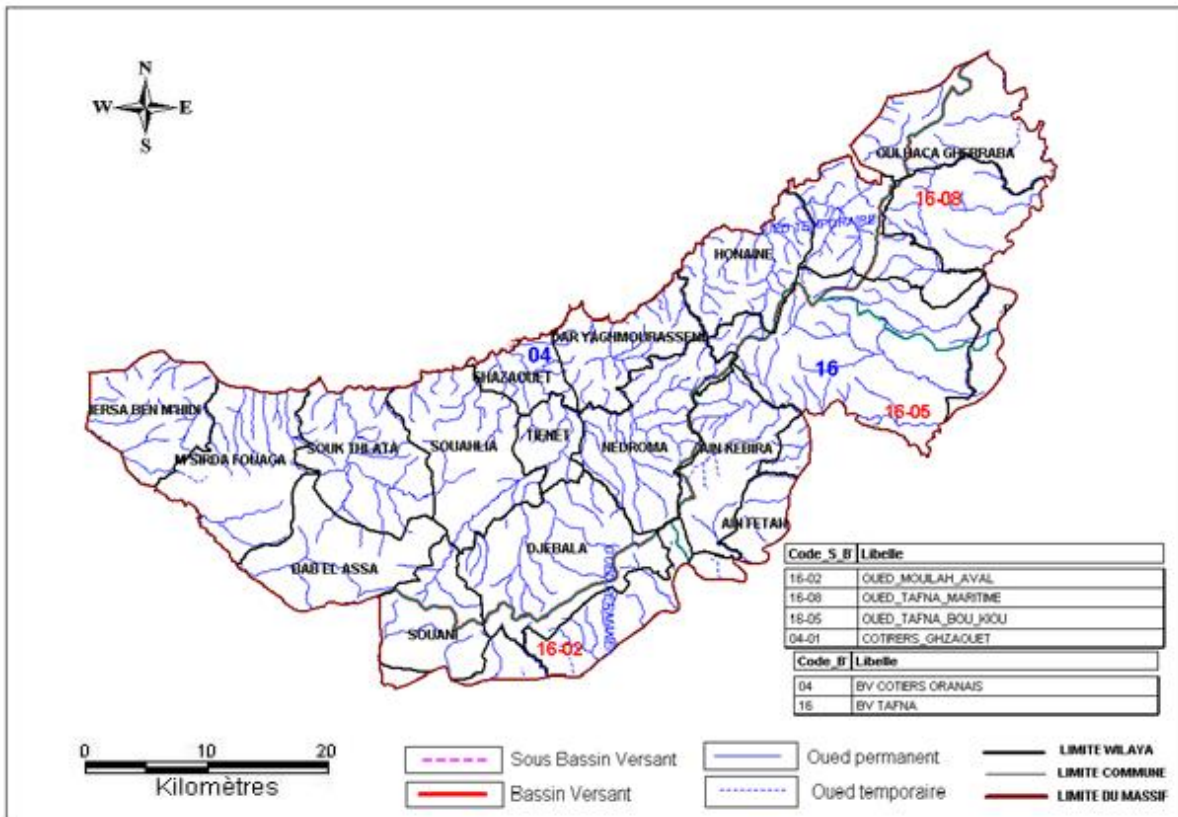


Figure 11 : Réseau hydrographique des Monts des Trara (BECAGROM, 2010)

La nature topographique du terrain fait que la zone dispose d'un réseau hydrographique dense et riche en chaâbats. Les oueds qui la parcourent sont nombreux : oued Essafsaf, oued El Beir, et oued El Guelta à l'Est, oued Honaine et oued El Menzel au centre, Oued Amellak et oued Kiouma à l'Ouest.

3.3.4 Milieu socioéconomique :

AIDOUD (1983), BARBÉRO et al (1990), BOUAZZA et BENABADJI (1998), QUEZEL (2000), MEDAIL et QUEZEL (2003) ; confirment que le rythme de dégradation de l'environnement s'accélère avec l'accroissement de la population surtout dans les régions arides.

La connaissance du milieu humain est donc fondamentale pour la caractérisation des grandes tendances en zones montagneuses, et pour la planification des programmes participatifs qui se basent sur l'amélioration des revenus de la population concernée et la protection de l'environnement.

3.3.4.1 Population :

3.3.4.1.1 Evolution de la population :

D'après le recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) en 2008, la population de HONAINE était de 5347 habitants en 1987, elle a connu une augmentation de 5424 habitants lors du RGPH de 1998 avec un taux d'accroissement de l'ordre de 0.13 % . La population a atteint 5485 habitants au RGPH de 2008 avec un taux de croissance moyen de l'ordre de 0.11%.

Tableau 02 : Evolution de la population de HONAINE

Commune	RGPH 1987	RGPH 1998	Taux (%) 1987/1998	RGPH 2008	Taux (%) 1998/2008
HONAINE	5 347	5 424	0.13	5 485	0.11

Source : DSA Tlemcen, 2013.

3.3.4.1.2 Répartition de la population :

Les Trara constituaient jusqu'au début de ce siècle l'une des régions les plus densément peuplées de l'Oranie avec 84 hab/Km² (THINTTOIN, 1960).

Contrairement à la strate urbaine, les communes classées « rurales », selon la définition de l'office national des statistiques (2001), sont celles qui disposent des centres agglomérés, dont la taille est inférieure à 5 000 habitants et le nombre d'emplois non agricoles est inférieure à 1000. La population rurale est composée généralement de la population des centres agglomérés et des zones éparses.

Le tableau n° 03 montre que les monts des Trara se caractérisent par un taux de ruralité de 100%.

Tableau 03 : Indice de Ruralité de la zone d'étude

Commune	Population 1987	Emploi 1987	Dont agricole	Population 1998	Emploi 1998	Dont agricole	Population 2008	Emploi 2008	Indice de ruralité
HONAINE	5347	836	87	5424	527	102	5485	1076	100 %

Source : BECAGROM ,2010.

3.3.4.2 L'agriculture :

3.3.4.2.1 L'occupation du sol :

L'agglomération de la population, la baisse de la main d'œuvre agricole, et surtout la mécanisation, devaient se traduire nécessairement par la généralisation des cultures annuelles. C'est ainsi qu'après avoir conquis très vite les espaces les plus favorables, les terrasses

alluviales, replats, pentes faibles et les cultures mécanisées, débordent rapidement et gagnent les versants de plus en plus escarpés exposant les sols à l'érosion (SARI, 1977).

Cette évolution a entraîné la régression des cultures irriguées qui sont généralement discontinues, très dispersées, se réduisant le plus souvent à quelques sites, désordonnés, autour des hameaux, le long des « séguias » et des sources, autour de quelques demeures et sur les fragments de terrasses d'oueds. L'eau s'est imposée comme un vecteur de développement de l'agriculture vivrière en irriguer à proximité des agglomérations (MEDJAHDI, 2010).

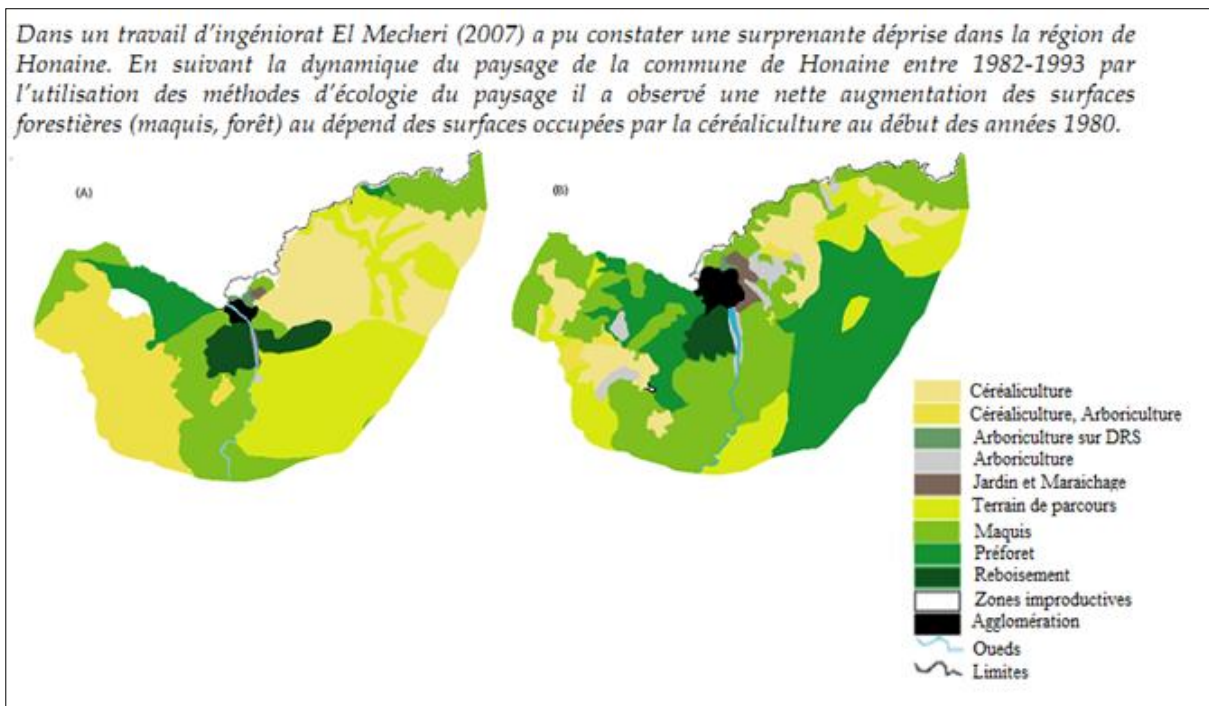


Figure 12 : Carte d'occupation du sol de la région de Honaine **EL MECHERI (2007) in (MEDJAHDI, 2010)**

3.3.4.2.2 Production végétale :

Honaine se décrit comme étant une zone de montagne, les activités agricoles sont du type traditionnel, c'est un développement orienté vers l'agriculture de montagne. L'exploitation de ses ressources est prévue pour un souffle économique nouveau de la région. Le climat et la nature de ses terres sont propices à la plantation de milliers d'arbres fruitiers tels que les amandiers, figuiers, oliviers.....etc (BERRAYAH, 2006).

Cette zone à caractère montagneux renferme un potentiel en sol agricole relativement important.

Tableau 04 : Répartition de la Surface Agricole Utile (S.A.U) à Honaine

Commune	S.T (Ha)	S.A.U (Ha)	Ratio S.A.U/S.T	Parcours et pacquage (Ha)
HONAINE	6370	2644	0.415	1000

Source : DSA – Tlemcen, 2013.

La comparaison des deux spéculations déterminantes que sont les cultures annuelles et les cultures pérennes nous aide à tirer des informations utiles sur le niveau d'exploitation des terres selon leurs caractéristiques.

Tableau 05 : Consistance de la Surface Agricole Utile (S.A.U) à Honaine

Communes	S.T (Ha)	S.A.U (Ha)	Cultures pérennes		Cultures Herbacées	
			Total (ha)	Ratio	Total (ha)	Ratio
HONAINE	6370	2644	450	0.17	370	0.14

Source : DSA - Tlemcen 2013

Ainsi dans la zone d'étude, les principales productions sont les cultures herbacées (les céréales, légumes secs, fourrage, maraichage) et les cultures pérennes (viticulture, agrume, oliviers et arbres fruitiers divers). Le rendement est en fonction de l'occupation de la main-d'œuvre (pas plus d'un ouvrier par hectare et par an), des facteurs climatiques et de la topographie du terrain, à cela s'ajoute la faible superficie irriguée qui ne représente que 02 % de la surface agricole utile (53 ha).

Tableau 06 : Production végétale (cultures herbacées) à Honaine

Commune	S.A.U (Ha)	Céréales		Fourrage		Légumes secs		Maraichère	
		Sup (Ha)	Prod (Qx)	Sup (Ha)	Prod (Qx)	Sup (Ha)	Prod (Qx)	Sup (Ha)	Prod (Qx)
HONAINE	2644	610	6890	70	1400	363	2050	209	15010

Source : DSA - Tlemcen 2013

Certes, la tendance de la diversification dans l'occupation des sols est vivement recherchée pour l'équilibre des revenus des ménages ruraux ; néanmoins la majorité des terres sont conduites en mode traditionnel, selon l'assolement biennal (jachère-céréales) (BECAGROM, 2010).

Tableau 07 : Production végétale (cultures pérennes) à Honaine

Communes	S.A.U (Ha)	Viticultures		Agrumes		Oliviers		Arbres fruitiers divers	
		Sup (Ha)	Prod (Qx)	Sup (Ha)	Prod (Qx)	Sup (Ha)	Prod (Qx)	Sup (Ha)	Prod (Qx)
HONAINE	2644	10	270	02	45	31	600	434	8950

Source : DSA - Tlemcen 2013

3.3.4.2.3 La pêche :

La région de Honaine est caractérisée par une façade maritime qui s'étend sur 12 Km sur laquelle est édifié un abri de pêche avec une capacité théorique de 55 embarcations de petit tonnage. La pêche constitue avec l'agriculture et le tourisme les principaux secteurs d'activité économique de la région (OTMANI, 2009).

3.3.4.2.4 L'élevage :

L'élevage constitue l'activité agricole la plus répandue à Honaine. D'une manière générale, cet élevage reste encore traditionnel et extensif. Les éleveurs sont généralement des agriculteurs ne possédant que quelques ares ou au maximum moins de 5 hectares.

Le cheptel a tendance à exercer une pression de plus en plus importante sur les espaces agricoles et forestiers avec toutes les conséquences qui en découlent.

Tableau 08 : Effectif de l'élevage dans la zone de Honaine

Commune	Ovins (Têtes)	Bovins (Têtes)	Caprins (Têtes)	Elevage avicole (Sujets)	Elevage apicole (Ruches)
HONAINE	410	31	240	12000	200

Source : DSA – Tlemcen, 2013.

Les chiffres cités dans le tableau 08 montrent :

- La dominance de l'élevage ovin par rapport aux autres espèces avec 410 têtes.
- Un élevage généralement extensif (surexploitation des parcours).
- La charge élevée confirme l'absence totale de relation entre le volume de troupeaux et la surface agricole. Ce manque d'équilibre se traduit par une surexploitation et destruction parfois irréversible de ces parcours.

Les conséquences écologiques de l'action des troupeaux sur le milieu naturel sont bien connues : dégradation des sols par érosion, solifluxion et piétinement, surconsommation des espèces appétentes, diminution de capacités de régénération des végétaux (PEREVOLOTSKY et SELIGMAN, 1998).

3.3.5 Milieu forestier :

La zone sur laquelle porte notre étude fait partie intégrante des monts des Traras orientaux. Elle est caractérisée par un relief montagneux s'accroissant dans la partie sud où culmine Djebel Tadjra (845 mètres) (BENMAHDI et al, 2013).

C'est un territoire relativement bien boisé (forêt domaniale de sidi Brahim et la forêt domaniale d'Oued Reggou) et peu peuplé qui regroupe trois zones d'expansion touristiques (ZET) : Sidna Youchâa, Honaine et Taffesout (**BILEM, 2011**).

Les formations agropédologiques sont relativement identiques que celles des Trara occidentaux (argilo-marneuses). La différence réside dans la nature géomorphologique des terrains (**BERRAYEH, 2006**).

La morphologie de la région s'est formée à la faveur d'une succession de mouvements tangentiels et de soulèvement de l'orogénèse atlasique et /ou alpine. Ces mouvements tectoniques profonds ont créé un important métamorphisme régional. C'est cette tectogénèse atlasique qui est à l'origine des reliefs actuels, de la nature des faciès des formations et d'éventuels mouvements néotectoniques (**PDAU, 2005**).

Tableau 09 : Contexte administratif des communes concernées

District	Triage	Superficie				Taux de recouvrement %	Communes Concernées
		Territoire du triage (Ha)	Forêt déjà constituée ha	Forêt Privée	Couvert forestier Total		
Beni Ouarssous	Honaine	13700	334	3873	4700	34	Honaine

Source : CFT -2014

Les forêts de la commune de Honaine appartiennent à la circonscription de Ghazaouet, district de Béni Ouarssous, triage de Honaine. Elles reposent sur un massif montagnard accentué tourmenté, caractérisé par un relief torrentiel très pentu et des ravinements encaissés créent des dénivellations parfois très importantes, les classes de pente s'intercalent entre 20 et 25% (**BOUCHENAF, 1995**).

La commune de Honaine compte un nombre relativement important d'oueds, parmi les plus importants nous citons : Oued Seftar qui matérialise la limite ouest de la commune, les Oueds Defla et Meknassi affluent de l'oued Amelak, Oued Menzel qui se jette à la mer au niveau de la plage de Honaine, oued Honaine et oued El Guelta....la ligne de partage des eaux se situe dans la partie sud de la commune , dans cette partie les oueds se déversent dans l'oued Boukiou lui-même. En zone nord les oueds rejoignent directement la mer (**OTMANI, 2009**).

La zone Honaine est la plus couverte de tous les Trara. Le relief accidenté, la nature du substrat et la position orographie ont créé des conditions favorables pour le développement d'une végétation luxuriante (**MEDJAHDI, 2010**).

Tableau 10 : La superficie forestière à Honaine

Daïra	Commune	Superficie Totale (ha)	Superficie forestière totale				
			Dont Forêts naturelles (ha)	Reboisement (ha)	Maquis parcours (ha)	Taux de boisement total(%)	Taux de boisement forêts (ha)
Honaine	Honaine	5700	3600	289	0	68	63.16

Source : CFT -2016

Les principales espèces qui imposent une physionomie par leur dominance dans la composition floristique grâce à leur pouvoir de résistance aux diverses agressions, se résument aux pin d'Alep et au *Tetraclinia* pour les espèces forestières et *Juniperus Phœnicea*, *Pistacia lentiscus*, *Phyllirea media* et *Olea europea* pour les espèces pré forestières (BERRAYEH, 2006).

A travers la stratification de la végétation, on trouve qu'elle est organisée en trois (03) strates :

- Une strate arborescente représentée essentiellement par *Pinus halepensis* et *Tetraclinia articulata*.
- Une strate arbustive caractérisée par une gamme variée d'espèces offrant un large spectre d'adaptation aux conditions du milieu et occupant le sous-étage de la strate arborescente exclusivement comme *Pistacia lentiscus*, *Quercus coccifera*, *Juniperus phoenicea*, *Olea europea* et *Phillyrea media*. C'est une strate qui joue un rôle déterminant dans la préservation de la couverture végétale et contribue à la lutte contre l'érosion.
- Une strate buissonnante où dominent les espèces suivantes : *Cistus heterophylus*, *Lavandula dentata*, *Erica multiflora*, *Genista tricuspidata*, *Thymus ciliatus*, *Calycotome intermedia*, *Chamaerops humilis*, *Ampelodesma mauritanicum*, *Genista tricuspidata*, *Cistus ladaniferus*, *Daphne gnidium*, *Genista erioclada* et *Stipa tenacissima*.

Cependant, c'est les groupements végétaux du thuya qui dominent. C'est une végétation assez particulière dans toute l'Oranie. On distingue l'association : *Calicotomo intermediae-Tetraclinetum articulatae* (BARBERO et al, 1981).

Par ailleurs, les formations forestières sont dominées par les groupements suivants : - **Pin d'Alep** (*Pinetum halepensis*), et **Thuya** (*Tetraclinetum articulata*) cantonnée dans les expositions sud et sud-est avec un cortège floristique caractéristique de l'étage bioclimatique semi-aride à variante chaude avec un sous bois de faible recouvrement où dominent les genres de la strate buissonnante. La composition floristique moyenne représentative dans le

territoire étudié de la tétraclinaie regroupe les espèces suivantes : *Tetraclinis articulata*, *Arbutus unedo*, *Asparagus albus*, *Astragalus lusitanicus*, *Bupleurum gibraltarium*, *Calycotome spinosa*, *Carallum europaea*, *Cistus landaniferus*, *Cistus sericeus*, *Coronilla juncea*, *Ebenus pinnata*, *Elichrysum stoechas*, *Genista quadriflora*, *Olea europea.sylvestris* et *Quercus coccifera*.

On note aussi la présence du genévrier (*Juniperus phoenicea*) avec un cortège floristique diversifié en espèces de la strate arbustive et sous arbustive adaptées aux conditions du milieu grâce à leurs facultés de rejeter de souche.

3.3.6 Les équipements et les infrastructures forestières :

3.3.6.1 - Les pistes forestières :

Compte tenu de son relief accidenté, les accès aux parties boisées des monts des Trara demeurent très insuffisants. Des travaux d'ouverture et d'aménagement de piste ont été entrepris depuis l'indépendance toutefois beaucoup d'efforts restent encore à déployer pour améliorer la situation et atteindre les normes nationales admises qui sont de l'ordre de 2 km pour 100 ha de forêts. La situation actuelle est estimée à 1.2 km pour 100 hectares de forêts.

Tableau 11 : Répartition des pistes dans le territoire de Honaine

District	Commune	Lieu dit	Longueur de piste (km)
Beni Ouarsous	Honaine	Oued salah	13
	Honaine	Oued regou	16
	Honaine	Rass nador	17

Source : CFT -2014

3.3.6.2 - Les tranchés pare-feu (TPF) :

Les tranchés pare-feu qui constituent un bon moyen de prévention et d'isolement des incendies ne couvrent que faiblement le potentiel forestier. Au niveau des Monts de Trara la superficie du réseau TPF est de 305 ha pour une superficie forestière totale de 52 755 ha, soit une densité moyenne de 0.57 ha par 100 ha de forêt. La circonscription de Ghazaouet dispose d'un réseau de TPF de 540 ha pour une superficie forestière de 23 859 ha, ce qui se traduit par un manque de 56.5 ha (**BNEDER, 2009**).

Tableau 12 : Répartition des TPF dans la circonscription de Ghazaouet

Circonscription	Superficie forestière (ha)	Etat des TPF (ha)		
		Existantes	Aménagées	Non aménagées
Ghazaouet	23859	270	200	70

Source : CFT- 2014

3.3.6.3 Les postes de vigie :

Les monts des Trara disposent de quatre postes de vigie qui dominent largement les massifs forestiers de par leur situation géographique (sommets de crêtes). Néanmoins ces derniers ne sont que très faiblement équipés pour assurer pleinement leur fonction (BNEDER, 2009).

Tableau 13 : Les postes de vigie dans la circonscription de Ghazaouet

Circonscription	Superficie forestière (ha)	Poste de vigie		
		Besoins	Existants	Reste à réaliser
Ghazaouet	23859	3	2	1

Source : CFT- 2014

3.3.6.4 Les points d'eau :

Au niveau des Monts des Trara on enregistre l'existence de 16 points d'eau, soit une densité moyenne de 0.30 points d'eau pour 1000 ha de forêt. Cette valeur est inférieure de la norme théorique d'un point d'eau pour 1.000 ha de forêt.

Tableau 14 : Les points d'eau dans la circonscription de Ghazaouet

Circonscriptions	Superficie forestière (ha)	Point d'eau		
		Besoins	Existants	Reste à réaliser
Ghazaouet	23859	24	10	14

Source : CFT- 2014

3.3.7 Les incendies de forêts :

Les incendies constituent une perturbation majeure des paysages méditerranéens. Ils sont liés aux pressions anthropiques intenses, mais aussi au caractère xérophytique et pyrophytique de la végétation (DELABRAZE et VALLETTE, 1974).

La forêt algérienne, actuellement fragile, à besoin d'être protégée car la déforestation ne cesse de s'accroître en raison des incendies répétés. Au cours des deux dernières

décennies (1985-2006), les incendies de forêts ont dévasté l'équivalent de 779 872,11 ha pour un nombre total de 32 354 foyers (ARFA , 2008) .

Tableau 15: Evolution des superficies incendiées dans la commune de Honaine

Année	94	95	96	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2009	2011	2012	2014	2015
Superficie incendiée (Ha)	729	1	390	27	1	17	53	80	6	20	7	215	65	116.5

Source : CFT- 2015

Dans la zone d'étude, des les incendies ont contribué à la dégradation de dizaines d'hectares de végétation, les plus importants ont été enregistrés durant les années 1994 et 1996 ou la superficie ravagée à dépasser 1100 ha.

3.4 Présentation de la région d'AIN GHORABA :

Ain Ghoraba est une ville située dans la daïra de Mansourah et la wilaya de Tlemcen. La ville compte 5068 habitants depuis le dernier recensement de la population (APC AIN GHORABA, 2015)

Entourée par les communes d'Azaïls, Terny Beni Hdiel et Sebdou, Ain Ghoraba est située à 9 km au nord-est d'Azaïls, la plus grande ville aux alentours.

Localisée à 829 mètres d'altitude, la ville d'Ain Ghoraba a pour coordonnées géographiques une **latitude:** 34° 42' 50" nord et une **longitude:** 1° 23' 21" ouest.



Photo n° 2 : Vue sur la forêt d'AIN GHORABA

3.4.1 Relief et topographie :

La région en question se localise dans la partie occidentale de l'Ouest algérien, faisant partie d'un secteur montagneux appelé « Monts de Tlemcen », particulièrement dans sa partie Sud-ouest.

Les Monts de Tlemcen, sont situés dans la partie occidentale de la chaîne tellienne, et ont les altitudes les plus élevées en moyenne 900-1000 m et culminent à 1843 m au Djebel Tenouchfi (Commune de Sidi-Djilalli) au Sud-ouest ; notons en plus les altitudes suivantes : (DJ. Ouargla 1797 m et Dj Nador 1579 m ...). Ils représentent des versants assez pentus et dissymétriques où la pente dépasse parfois les 30% (BENABDELAH, 2011).

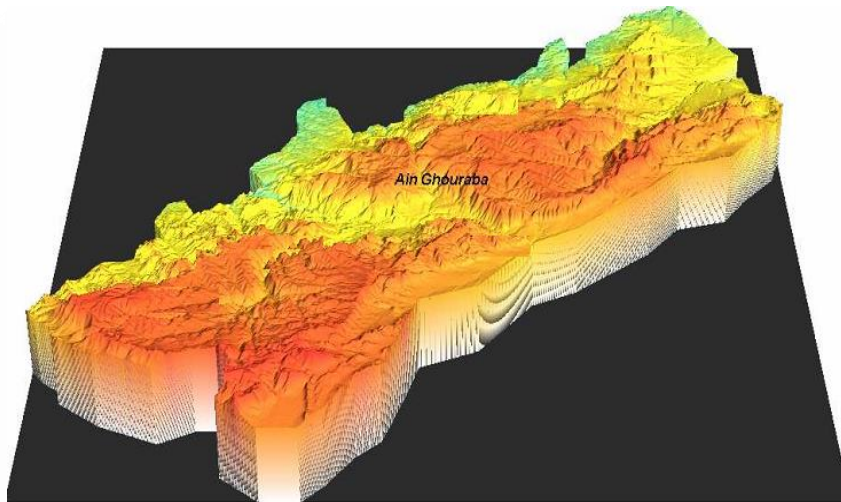


Figure 13 : Représentation en trois dimensions de la zone d'étude (BENABDELLAH, 2011)

Ce massif montagneux détermine des versants nord et des versants Sud bien accusés pour ce qui concerne la végétation. Le milieu physique est représenté par plusieurs Djebels et présentes de nombreux talwegs à orientations diverses déterminant une multitude d'expositions. La plupart des terrains sont des hauts piémonts (12,5 à 25%) et des reliefs accidentés qui représentent une pente supérieure à 25% (AMAR, 2001).

3.4.2 Aperçu géologique :

Les monts de Tlemcen sont composés principalement de terrains carbonatés d'âge jurassique supérieur et de marnes gréseuses d'âge tertiaires. Les formations géologiques d'âge jurassique supérieur représentent l'affleurement le plus répandu dans ces Monts.

La carte géographique de Tlemcen établie par CLAIRE (1973), montre que les massifs septentrionaux des monts de Tlemcen sont constitués essentiellement de roches carbonatées, de marnes d'âge jurassique, ainsi que de dépôts souterrains récents.

Plusieurs auteurs ont traité l'aspect géologique des monts de Tlemcen, on cite : **ELMI (1970)** ; **POUGET (1980)** ; **DAHMANI (1984)** ; **BENEST (1982, 1985)** ; **BENEST et BENSALAH (1995)**.

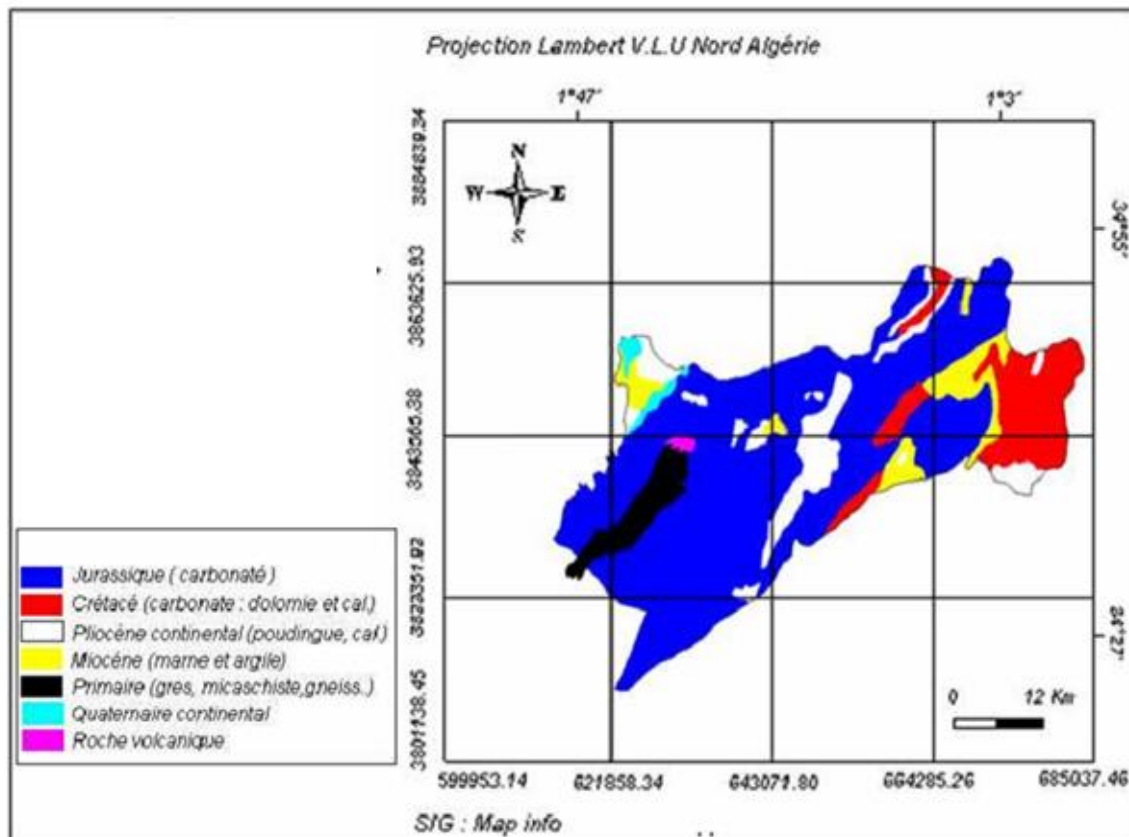


Figure 14 : Carte géologique des monts de Tlemcen (**BENABELAH, 2011**)

Le Jurassique supérieur est un faciès marquant de la région d'étude, il affleure largement sur de vastes superficies couvertes dans les creux du relief et dans les vallées, par des dépôts continentaux récents. Ainsi, il est formé de :

- ✚ **Les Grés de Boumediène** : Ce sont des grés à éléments fins sous forme de gros bancs séparés par des inter lits argileux, le ciment est presque toujours calcaire. Les alternances sont souvent rouges ou vertes avec des grés à stratification oblique. Il s'agit d'un ensemble à dominance gréseuse qui affleure aux environs de Tlemcen en particulier près du sanctuaire de Sidi Boumediene. L'épaisseur de cette formation est de 200 à 400 m en moyenne (**BENEST, 1985**).
- ✚ **Les calcaires de Zariffet** (Kimméridgien supérieur) : cette formation tire son nom du col de Zariffet situé à 5 Km au Sud-ouest de Tlemcen. Elle peut être réduite ou partiellement dolomitique (épaisseur de 100 m environ au col de Zariffet). Leur base est caractérisée par quelques bancs de calcaires micritiques, détritiques et

marneux distingués par **DOUMERGUE** en **1910**. Il s'agit de calcaires bleu très fissurés, qui forment avec les calcaires et dolomies de Tlemcen, un horizon très riche en eau.

✚ **Les dolomies de Tlemcen (Kimméridgien terminal) :** définie en **1910** par **DOUMERGUE**, elles correspondent aux grands escarpements dolomitiques qui dominent Tlemcen et couronnent le cirque des cascades. Elle marque les monts de Tlemcen d'un style morphologique bien particulier. L'érosion y a parfois donné naissance à des reliefs très pittoresques à aspects ruiniformes avec cheminées.

Les dolomies présentent en général une porosité beaucoup plus élevée que les calcaires (porosité inter-granulaire des dolomies saccharoïdes ou porosité vacuolaire) probablement liée au processus de dolomitisation lui-même et la dissolution secondaire des parties non dolomitisées (**COLLIGNON, 1986**).

- **Les calcaires de Stah (Kimméridgien terminal) :** Selon **BENEST (1985)**, cette formation n'est vraiment différentiable des dolomies de Tlemcen, que lorsqu'elle est épargnée par la dolomitisation. La coupe de Dj. Stah, montre 65 m de calcaire massifs à dominance micritique, pratiquement dépourvus de passés tendres marneux. Par contre dans de nombreux autres secteurs, la formation admet de minces intercalations marno-calcaires ou marneuses.

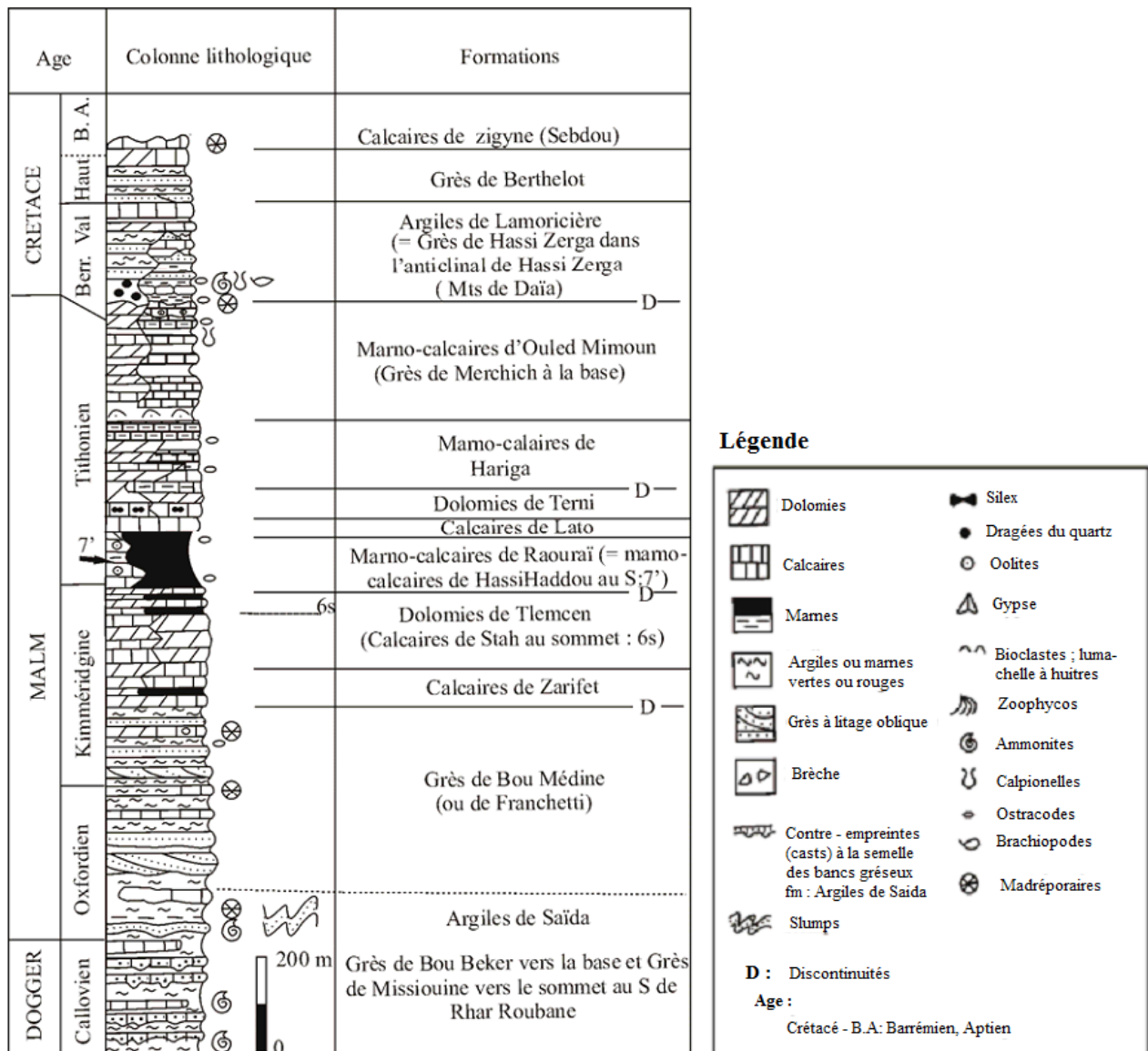


Figure 15 : Série litho-stratigraphique type des Monts de Tlemcen (BENEST et al, 1999).

- **Les marno-calcaire de Raourai (Tithonien basal) :** Il s'agit d'alternance de marnes gris verdâtre ou blanchâtre et de calcaires marneux durs. C'est une formation plutôt calcaire que marneuse avec une épaisseur de 75 à 150 m en moyenne, et près de 400 m au djebel Raourai. Cette formation est limitée à sa base par les calcaires de Stah et au sommet par les calcaires de Lato, où les premières assoient des dolomies des Terny. Elles sont développées dans le Djebel Lato, le plateau de Titmokhen, le Dj .El-Guern et plateau des Azails (BENABDALAH, 2011).
- **Les calcaires de Lato (Tithonique basal) :** Ce sont les calcaires massifs en bancs épais, terminés par des laminites sombres calcaire-argileuses, à plaquettes de dessiccation, leur épaisseur est d'environ 50 m au Djebel Lato. Cette formation correspond à la corniche sous-jacente à celle des dolomies de Terny. Elle débute au

dessus du dernier niveau marneux des marno-calcaires de Raourai et se termine au sommet de laminites noires formant une vire dans toute la région de Sebdu (DAHMANI, 1984).

- **Les dolomies de Terny (Tithonien inférieur) :** Il s'agit de dolomies massives (50 m en moyenne) bien imposée sur le plateau de Terny où elles débutent par des niveaux à silex stratiformes. Cette formation qui peut être partiellement calcaire, montre souvent des stratifications obliques et entrecroisées ainsi que des passées de laminites stromatolotiques (BENEST, 1985).
- **Les marno-calcaires de Hariga (Tithonien supérieur) :** c'est une alternance de calcaire avec quelques passées de laminites et de marnes plus ou moins tendres avec une épaisseur de 165m à djebel Hariga d'El Gor.
- **Le Marno-calcaire d'Ouled Mimoun (Tithonique supérieur) :** cette formation développée au sommet de la série carbonatée du Jurassique supérieur est bien représentée dans le secteur d'Ouled Mimoun où sa puissance varie de 500 à 700 m (ELMI, 1970).
- **Les Grés de Merchich :** ils sont composés d'une alternance d'argiles rouges, de grés fins, de calcaire avec des manchettes d'huîtres (BENEST, 1985).

3.4.3 Aperçu pédologique :

DUCHAUFOR (1977), note que la majorité des sols des régions méditerranéennes sont caractérisés par des sols dit « fersiallitiques ». A travers l'exploitation de la carte pédologique des Monts de Tlemcen (Figure 15) , nous remarquons que notre zone d'étude est formée des sols suivants :

- **Les sols fersiallitiques :** ce type de sol est souvent associé au climat méditerranéen, suivant le degré de rubéfaction, ils sont soit bruns, soit rouges (HADJADJ-AOUL, 1995). Les sols bruns fersiallitiques sont des sols forestiers caractéristiques des régions méditerranéennes humides où les essences existantes sont le chêne-zéen (*Quercus mirbekii*) en Afrique du Nord ; et sub-humide chêne-liège (*Quercus suber*) sur roche siliceuse et chêne vert (*Quercus ilex*) sur substratum calcaire. Leur rubéfaction correspond à une phase plus chaude à végétation sclérophylle, et a donné les sols rouge fersiallitiques ou « terra rosa » (DAHMANI ; 1997).

Les sols rouges fersiallitiques «Terra rossa » : il s'agit d'un paléosol. C'est une argile de décalcification sur affleurements calcaires des régions méditerranéennes. Elle a subi une décarbonatation par lessivage et une rubéfaction des sels de fer par déshydratation plus ou moins complète (**DUCHAUFOR, 1984**).

- Les sols calcimagnésiques : Les sols calcimagnésiques sont très riches en Ca^{2+} et /ou Mg^{2+} , on peut aussi distinguer les sols bruns calcaires sur substrat Marno-calcaire et les sols bruns calciques rencontrés sur grès, peu calcaire et schiste. Ce sont des sols calcimagnésiques brunifiés moins caillouteux et plus ou moins décarbonatés en surface (**DAHMANI, 1997**). Ces sols sont généralement des rendzines développées sur roches calcaires et très répandu dans l'aire du thuya (**HADJADJ-AOUL, 1995**).

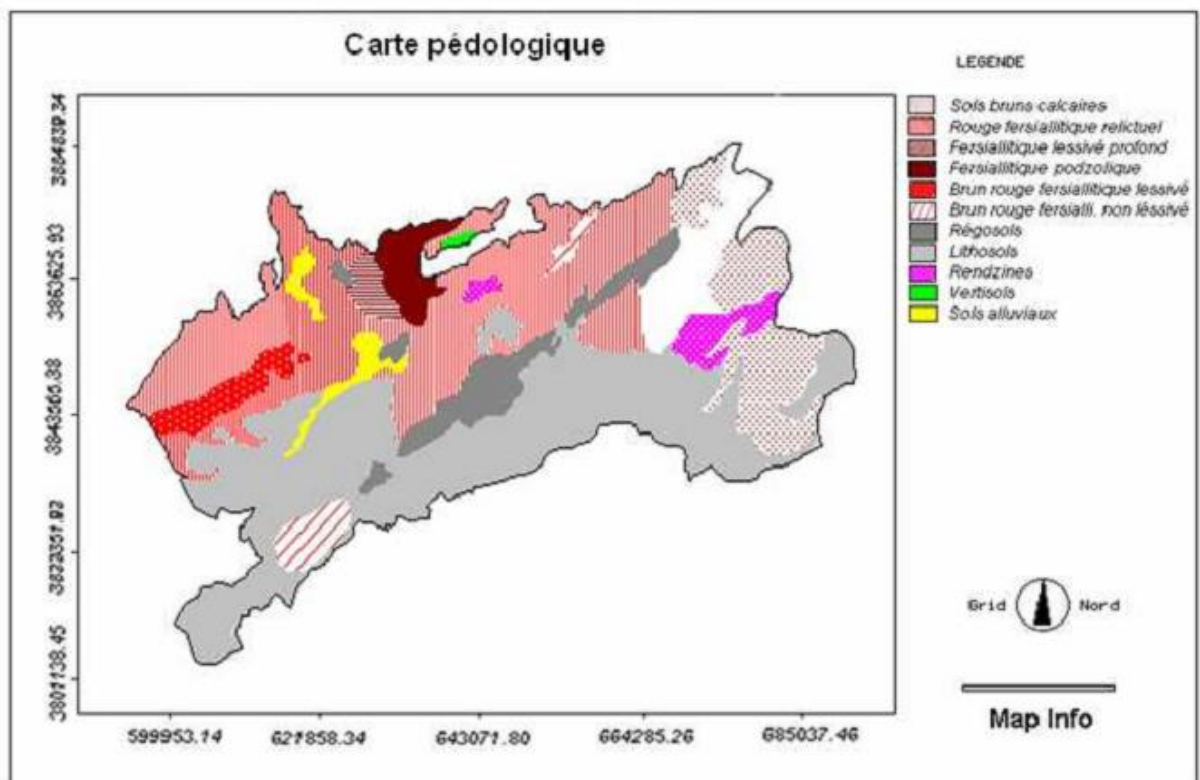


Figure 16 : Carte pédologique des monts de Tlemcen (**KAZI TANI, 1996**).

- **Les sols peu évolués** : sont formés sous l'action de l'érosion, on distingue les régosols qui sont selon **BAIZE** et **GIRARD, (2008)** des solums rencontrés en amont des zones d'ablation, très minces comportant à moins de 10 cm de profondeur, un matériau non ou très peu évolué, non différencié, n'ayant pas acquis de structure pédologique généralisée, meuble ou peu dur. Les zones d'apport situées en aval portent des sols très caillouteux rajeunis par la fréquence des dépôts de matériel. Il s'agit de sols colluviaux

pouvant être des rendzines colluviales lorsqu'ils contiennent du calcaire (**DAHMANI, 1997**).

3.4.4 Aperçu hydrographique :

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations carbonatées du jurassique et se modifie avec l'évolution de la tectonique (**BENEST, 1995** et **BENSALAH, 1995**).

Les monts de Tlemcen constitués de roches sédimentaires calcaires ou dolomitiques, offrent toute la gamme du modèle karstique (résurgences, puits, cascades ...) d'où la présence d'un écoulement superficiel correspondant au bassin versant de la Tafna, qui prend naissance à Ghar Boumaza à une altitude de 1045 mètres au Nord de Sebdo (**OUAHAB, 2015**).

La zone d'étude est traversée par un réseau hydrographique important, composé d'oueds principaux et secondaires. Les oueds secondaires sont alimentés par plusieurs affluents et châabats.

Oued Tafna est décrit selon **ELMI (1970)**, parmi les oueds à écoulement superficiel sur une longueur de 170 km. La Tafna a un régime saisonnier caractérisé par un écoulement important en hiver, où les crues successives coïncident avec les pluies de relief, particulièrement abondantes sur les versants exposés au Nord et à l'Ouest (**MEKKIOUI, 1997**).

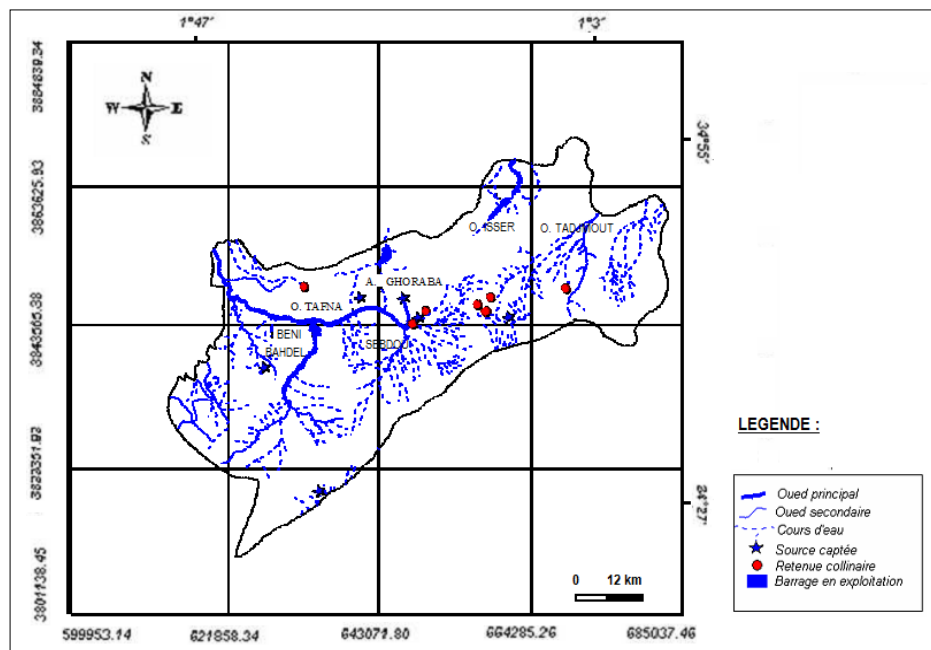


Figure 17 : Réseau hydrographique des monts de Tlemcen (ANAT, 2003).

Ainsi selon **BENABDELLAHLA (2011)**, la zone d'AIN GHORABA est caractérisée par la présence des oueds suivants :

- Oued Taghrout: caractérisé par un débit irrégulier, assez fort en période pluviale.
- Oue d'Oucif: qui est utile pour l'irrigation agricole, caractérisé par la présence de nombreuses gattates (Mouhand, Djelloule ...).
- Oued Khouche: à un régime temporaire où il coule uniquement dans les périodes pluviales, formant des crues très importantes.
- Oued Essad : qui prend source d'oued Tafna, est dirigé vers les terrains agricoles (Tebouda) pour l'irrigation.

Autrement, les ressources souterraines sont très importantes dans la région car les Monts de Tlemcen sont relativement bien arrosés avec des précipitations supérieures à 600 mm/an. Ils sont formés de terrains jurassiques carbonatés et dolomitiques qui présentent une karstification importante.

3.4.5 Milieu socioéconomique :

3.4.5.1 Population :

3.4.5.1.1 Evolution de la population :

La commune de AIN GHORABA totalise un volume de population évalué à 5068 habitants (RGPH, 2008), soit un additionnel de 229 habitants, par rapport à la période de 1998, ce qui équivaut à un taux d'accroissement de 0,43 %.

Tableau 16 : Evolution de la population d'AIN GHORABA

Communes	RGPH 1998	RGPH 2008	Taux (%) 1998/2008
AIN GHORABA	4839	5068	0.43

Source : DSA- Tlemcen 2013

An niveau de cette région, la population active avoisine 1630 habitants, dont 9% occupe le secteur de l'agriculture, 6% travaille dans le secteur du bâtiment et des travaux publics, 5% de population sont employés dans l'industrie et 31% occupe le secteur tertiaire, le taux de chômage avoisine 49%.

3.4.5.2 Elevage :

Le pâturage anarchique, disproportionné comme il est le cas dans la zone d'étude ; entraîne des effets négatifs ; par une régression de la phytomasse pérenne et une augmentation des espèces éphémères, mais surtout une diminution de la diversité floristique (ARMIAUD et *al*, 1996).

Tableau 17 : Evolution de l'élevage dans la commune d'AIN GHORABA

Communes	Superficie forestière (Ha)	Terrain de parcours (Ha)	Ovin (têtes)	Bovin (têtes)	Caprins (têtes)
AIN GHORABA	2307	8961	5850	624	1460

Source : DSA- Tlemcen 2013

- L'élevage ovin occupe le premier rang, avec un effectif de 5850 têtes.
- Les caprins occupent la deuxième position avec un effectif de 1460 têtes.
- L'élevage bovin occupe la troisième position avec 624 têtes.

Les éleveurs pratiquent un élevage extensif sur le milieu naturel, la charge élevée confirme l'absence totale de la relation entre le volume de troupeau et la surface de parcours. Ce manque d'équilibre se traduit par une sur exploitation et la destruction parfois irréversible de ces parcours extrêmement fragiles.

3.4.5.3 L'agriculture :

3.4.5.3.1 Occupation des terres :

Dans la zone d'étude l'occupation et la répartition des terres dépendent de l'état des sols, de la situation géographique et de l'altitude. En effet, l'agriculture est considérée à présent comme étant le secteur d'activité le plus important, notamment par la superficie agricole utile (S.A.U.) qu'elle occupe et la diversification de la production végétale et animale.

Tableau 18 : Occupation et répartition des terres dans la commune d'AIN GHORABA

Commune	Surface agricole total (SAT)							S.A.T
	Surface agricole total (S.A.U)				Total S.A.U	Autres terres utilisées par l'agriculture		
	Dont (Ha)					Pacage parcours	Terres abandonnées	
	Irriguée	Terres labourée	Culture permanente	Culture s/serres				
AIN GHORABA	155	3176	173	0	3504	8961	0	12465

Source : DSA- Tlemcen 2013

3.4.5.3.2 Production végétale :

La situation du secteur de l'agriculture dans la commune d'Ain Ghoraba peut être comme suit (Tab.18) :

Tableau 19 : Production végétale dans la commune d'AIN GHORABA

Commune	Céréales		Légumes secs		Cultures maraichères		Oliviers		Arbres fruitiers divers	
	Sup (ha)	Prod (Qx)	Sup (ha)	Prod (Qx)	Sup (ha)	Prod (Qx)	Sup (ha)	Prod (Qx)	Sup (ha)	Prod (Qx)
AIN GHORABA	280	1630	0	0	14	560	31	278	182	2780

Source : DSA- Tlemcen 2013

- **La céréaliculture** : présente la spéculation la plus prépondérante pratiquée sur l'ensemble du territoire communal, même sur les terrains accidentés et à forte pente, avec une superficie de 280 ha et une production de 1630 Qx. Le blé dur, le blé tendre, l'orge et l'avoine sont les principales cultures céréalières adoptées.
- **Légumes secs** : dans notre zone d'étude les agriculteurs ne pratiquent par la production de légumes secs.
- **Cultures maraichères** : la superficie réservée à cette culture est de l'ordre de 14 ha avec une production de 560 Qx. Les variétés dominantes sont la pomme de terre, la carotte, et le navet.
- **Parmi les cultures pérennes on cite** : l'olivier avec une superficie de 31 ha et une production de 278 Qx. Les Arbres fruitiers divers occupants 182 ha et produisent 2780 Qx.

3.4.6 Milieu forestier :

Comme dans toute la zone méditerranéenne, les sols des Monts de Tlemcen sont le plus souvent soumis à l'érosion, aussi leur forme la plus fréquente est celle de sols tronqués. Le constat actuel des faciès forestiers laisse entrevoir que les stades climaciques se raréfient et cèdent la place à une végétation de type maquis très clairsemés. L'état du sol ne fait que confirmé ce constat. En effet, il se trouve que ce dernier soit le plus souvent tronqué, subissant le flux de l'érosion éolienne et hydrique, et ou le paysage le plus couramment observe est celui d'un environnement à affleurement rocheux sans précédent (AYACHE et BOUAZZA ,2008).

La végétation des monts de Tlemcen se caractérise par une diversité de structures physiologiques et de composition dans les strates (arbustives et buissonnantes) et ce,

grâce à la variété géographique, géologique et climatique qu'offrent les montagnes de Tlemcen (**BENABDELLI, 1996**).

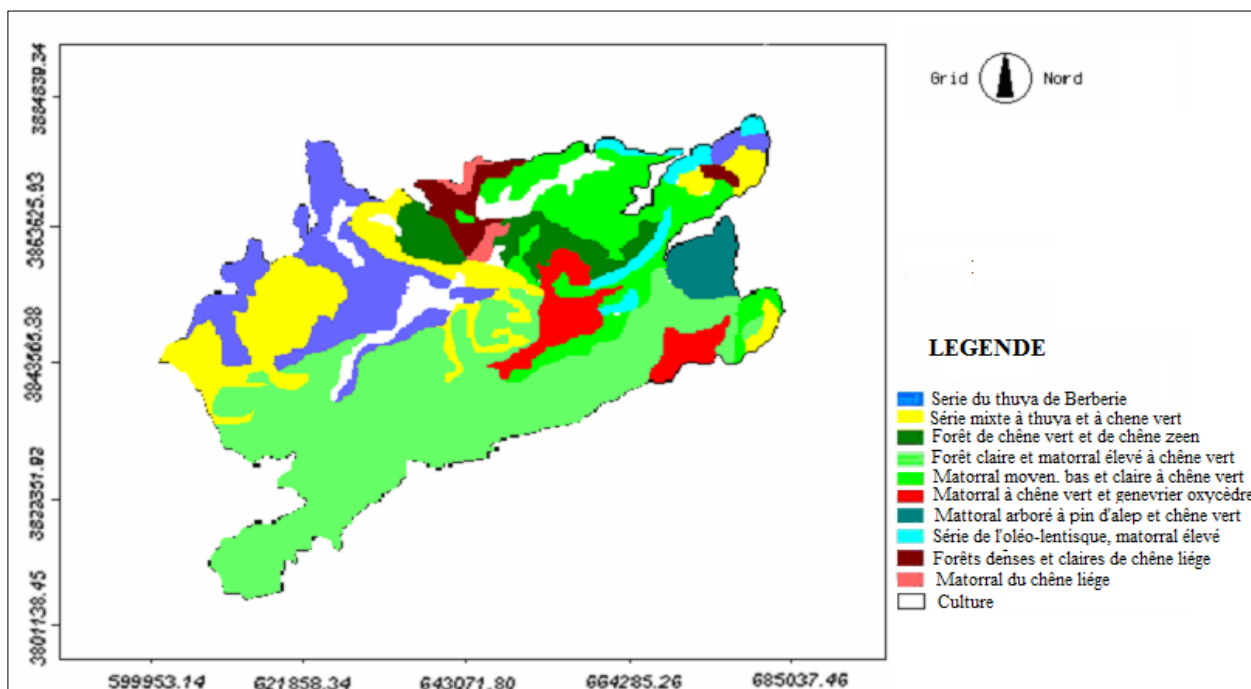


Figure 18 : Carte de végétation des monts de Tlemcen (**BENABDELLAH, 2011**)

Les formations forestières dans la région de Khemis et Beni Bahdel sont dominées par *Tetraclinis articulata* (Thuya de Berbérie) au sud –ouest ; *Pinus halepensis* (Pin d'Alep) au centre et au nord-est par *Quercus ilex* (chêne -vert) ; *Quercus coccifera* (chêne -Kermès) ; *Juniperus oxycedrus* (genévrier oxycèdre), puis *Quercus suber* (chêne- liège) au nord- ouest et au sud–est. Le chêne zéen (*Quercus faginea*) domine sur les sols profonds et humides. Sa pénétration est constatée aussi bien à Terny (Tel Terny) que sur les hauteurs de Tlemcen à l'intérieur de Zariéffet (**GAOUAR, 1980**). A l'extrême ouest c'est la tétraclinaie qui réapparaît soit sous sa forme claire, soit sous la forme d'une formation mixte avec le chêne vert (**MESLI, 2009**).

La végétation dans la zone d'étude est dominée essentiellement par le *Quercus rotundifolia* et *Tetraclinis articulata*. La strate arbustive et herbacée accompagnatrice des deux essences forestières est diversifiée :

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| <i>Juniperus oxycedrus L.</i> | <i>Olea europea</i> |
| <i>Viburnum tinus.</i> | <i>Pistacia lentiscus.</i> |
| <i>Arbutus unedo.</i> | <i>Phillyrea angustifolia.</i> |
| <i>Rhamnus lycioides.</i> | <i>Jasminum fruticans.</i> |
| <i>Calycotome spinosa (L) Lank.</i> | <i>Asparagus stipularis.</i> |
| <i>Quercus coccifera.</i> | <i>Teucrium pollium.</i> |
| <i>Globularia alypum</i> | <i>Thymus ciliatus</i> |

3.4.7 Les équipements et les infrastructures forestières :

La conservation des Forêt de Tlemcen possède, en effet, un réseau important de pistes forestières (1928 Km), de tranchées pare-feux (1704 ha) et 50 points d'eau. La surveillance se fait par 17 postes de vigie et 14 brigades forestières mobiles (ARFA, 2008).

3.4.7.1 Les pistes forestières :

La protection contre l'incendie d'un massif forestier exige qu'il soit équipé d'un réseau cohérent de voies utilisables. Pour concourir utilement à la protection des forêts contre les incendies, une voie doit être apte à assurer l'accès rapide des véhicules de secours à tout foyer d'incendie (DAHMANI, 2010).

Tableau 20 : Répartition des pistes dans la circonscription de Tlemcen

Circonscription	Superficie forestière (ha)	Etat des pistes (Km)		
		Existants	Aménagées	Non aménagées
Tlemcen	36573	325	148	177

Source : CFT - 2014

3.4.7.2 Les tranchés pare-feu (TPF) :

Les tranchés pare-feu au sens strict sont des discontinuités linéaires destinées à compartimenter l'espace forestier et à contenir l'incendie dans les massifs isolés.

Tableau 21 : Répartition des TPF dans la circonscription de Tlemcen

Circonscription	Superficie forestière (ha)	Etat des TPF (ha)		
		Existants	Aménagées	Non aménagées
Tlemcen	36573	914	403	511

Source : CFT – 2014

Les Monts de Tlemcen se caractérisent par la présence d'un réseau de tranchée par feu de 1265 ha pour une superficie forestière de 142067 ha, soit une densité de 0.89 ha tous les 100 ha (BNEDER, 2009).

3.4.7.3 Les postes de vigie :

Les normes théoriques d'observation exigent la présence d'un poste de vigie pour 7000 ha de forêt, et une brigade forestière mobile pour 5000 ha (BNEDER, 2009).

Tableau 22 : Postes vigies dans la circonscription de Tlemcen

Circonscription	Superficie forestière (ha)	Poste de vigie		
		Besoins	Existants	Reste à réaliser
Tlemcen	36573	5	3	2

Source : CFT - 2014

3.4.7.4 Les points d'eau :

Pour la circonscription de Tlemcen la norme théorique exige l'existence de 36 points d'eau, alors que les points d'eau existants sont de 12, ce qui se traduit par un manque de 24 points d'eau.

Tableau 23 : Points d'eau dans la circonscription de Tlemcen

Circonscription	Superficie forestière (ha)	Points d'eau		
		Besoins	Existants	Reste à réaliser
Tlemcen	36573	36	12	24

Source : CFT - 2014

3.4.8 Les incendie de forêts :

Dans la région de Tlemcen, chaque année le patrimoine forestier est exposé aux incendies. Ce phénomène qui est provoqué par plusieurs causes dont la négligence constitue la principale, pourrait avoir des conséquences néfastes sur les ressources naturelles.

Comme le reste du territoire, la région d'Ain Ghoraba n'échappe pas à ce phénomène, le tableau suivant illustre la superficie incendie durant la période 2004/ 2015.

Tableau 24: Evolution des superficies incendiées dans les Monts Tlemcen

Année	Superficie incendie (Ha)	Essences	Lieux
2004	530	Pin d'Alep, Chêne vert Alfa, Thuya , Broussaille	Ain Fezza, Ain Ghoraba Beni Bahdel, Terny, Beni Snous, Tlemcen, Mansourah, El Azail
2005	700	Broussaille, Chêne vert, Thuya	Ain Ghoraba , Beni Bahdel
2006	837	Pin d'Alep, Cyprès Alfa, Thuya	Ain Fezza, Ain Ghoraba , Ain Tallout
2007	235	Pin d'Alep, Chêne vert, Chêne liège, Thuya	Sebdou, Azail, Beni Bousaid, Ain Ghoraba , Ain Tallout, Terny

2008	38	Broussaille, Chêne vert	Mansourah, Ain Fezza, Terny, Beni Bahdel, El Azail
2009	99	Broussaille, Chêne vert	Terny, Ain Fezza, Beni Snous
2010	429	Broussaille, Chêne vert, Thuya	Ain Ghoraba , Terny, Ain Fezza, Beni Mester, Beni Bahdel
2011	141.50	Broussaille, Chêne vert, Thuya , Chêne zeen, Chêne Kermes	Mansourah, Ain Fezza, Terny, Beni Bahdel, El Azail, Tlemcen, Terny, Ain Ghoraba
2012	551	Pin d'Alep, Broussaille, Chêne vert, Thuya , Chêne Liège, Chêne vert	Ain Ghoraba , Terny, Ain Fezza, Beni Mester
2013	30	Broussaille, Chêne vert	Ain Fezza, Beni Snous, Tlemcen
2014	872	Broussaille, Chêne vert, Chêne liège, Thuya , Pin d'Alep	Ain Ghoraba , Terny, Ain Fezza, Beni Mester, Ain Tallout, Ouled Mimoun, El Gor, Tlemcen, Beni Snous, Beni Smail
2015	2225	Broussaille, Chêne vert, Chêne liège, Thuya , Pin d'Alep	Ain Ghoraba , Terny, Ain Fezza, Beni Mester, Ain Tallout, Ouled Mimoun, El Gor, Tlemcen, Beni Snous, Beni Smail, Mansourah

Source : CFT – Tlemcen 2015

3.5 Bioclimatologie :

La région méditerranéenne est caractérisée par une pluviométrie faible et irrégulière ayant engendré des périodes de sécheresse lourde de conséquences, de point de vue richesse spécifique (AYMAN, 2006). L'originalité du climat méditerranéen ne peut s'affirmer que par l'existence d'une période sèche axée sur la saison chaude, de durée variable, et imposante une phase annuelle de stress xérique à la végétation en place (MEDAIL et QUEZEL, 2003).

Le climat de la région de Tlemcen est plus au moins connu grâce aux travaux effectués par SELTZER (1946) ; EMBERGER (1930 ; 1971) ; BAGNOULS et GAUSSEN (1953) ; WALTER et *al.* (1960) et plus récemment QUEZEL (1976) ; LE HOUEROU et *al.*, (1977) ; DAGET (1980) ; ALCARAZ (1983) , DJBAILI (1984) ; PONS (1984) ; MEDAIL et QUEZEL, (1997).

Dans cette partie nous essayerons de développer une synthèse bioclimatique des deux zones d'étude, afin de connaître les particularités de chaque région de point de vue climat.

3.5.1 Méthodologie :

3.5.1.1 Choix de la période et de la durée d'étude :

En absence de données climatiques spécifiques aux deux zones d'études, nous avons pris en considération deux stations météorologiques pour caractériser le territoire d'étude.

Tableau 25 : Données générales des stations météorologiques de référence

Zones d'études	Stations	Latitude N	Longitude W	Altitude (m)
HONAINÉ	GHAZAOUET	35°06'	1°52'	4
	ZENATA	35°01'	1°27'	249
AIN GHORABA	MEFROUCHE	34° 51'	1° 16'	1100
	BENI BAHDEL	34° 38'	1° 36'	700

Source CFT - 2013

Les données de l'ancienne période ont été obtenues à partir de recueil météorologiques de SELTZER (1946), celles de la nouvelle période, sont fournies par les stations météorologiques choisies.

Pour qu'on puisse faire une étude climatique fiable, et afin de bien comparer entre l'ancienne période qui s'étend sur 25 ans, il fallait obtenir des données de 25 ans en plus pour la nouvelle période.

Tableau 26 : Données climatiques des stations de référence (Période 1980-2013)

Stations		J	F	M	A	M	J	JT	AT	S	O	N	D	P annuelle (mm)	M (°C)	m (°C)
														T Moy Ann (°C)		
Station GHAZAOUET	P (mm)	44.18	46.48	40.12	29.37	24.36	4.07	0.94	2.81	18.13	32.41	57.26	38.72	338.85	30.30	6.92
	T (°C)	11.95	12.67	14.55	16.24	19.29	22.86	26.04	26.71	23.91	20.07	16.04	13.12	18.62		
Station ZENATA	P (mm)	44.95	40.31	43.66	32.92	30.69	7.01	1.70	3.34	16.48	25.64	50.43	43.44	340.57	33.06	5.47
	T (°C)	12.62	13.74	15.67	17.68	20.61	24.70	28.14	28.66	25.65	21.65	16.60	13.68	19.95		
Station MEFROUCHE	P (mm)	109,82	69,72	88,52	63,75	60,21	12,97	2,93	7,3	21,1	55,98	68,71	65,93	626.94	30.48	2.21
	T (°C)	6,95	8,24	10,02	10,52	14,63	19,56	25,21	23,97	19,13	14,84	11,17	8,34	14.38		
Station BENI BAHDEL	P (mm)	64,22	51,83	65,50	43,79	42,77	11,71	3,34	7,8	16,15	36,01	53,63	50,01	446.76	34.2	3.1
	T (°C)	8,4	10,1	12,3	14,2	18,6	23,8	29,2	28,2	24,1	18,2	14,1	10,6	17.65		

Tableau 27 : Données climatiques des stations de référence (Période 1913-1938)

Stations		J	F	M	A	M	J	JT	AT	S	O	N	D	P annuelle (mm)	M (°C)	m (°C)
														T Moy Ann (°C)		
Station GHAZAOUET	P (mm)	65.77	49.89	51.03	44.22	35.05	13.34	1.13	1.13	21.54	47.62	66.90	69.17	466.79	29	7
	T (°C)	11.45	11.85	12.90	15.05	17.40	20.60	33.40	24.25	22.15	18.70	15.20	12.35	17.94		
Station ZENATA	P (mm)	65.00	62.00	49.00	44.00	38.00	11.00	1.00	4.00	23.00	42.00	68.00	67.00	474	32	6.7
	T (°C)	9.90	10.00	10.50	13.00	15.00	21.00	24.00	26.00	21.50	17.00	13.00	10.00	15.90		
Station MEFROUCHE	P (mm)	95,61	86,8	120,77	62,9	64,16	17,61	3,77	2,52	15,1	47,8	51,58	113,2	681.82	29.07	3.96
	T (°C)	7,92	8,76	10,07	12,11	15,17	18,03	21,63	22,94	19,08	14,7	10,79	8,02	14.10		
Station BENI BAHDEL	P (mm)	76.00	69.00	96.00	50.00	51.00	14.00	3.00	2.00	12.00	38.00	40.00	90.00	541	34.20	5.20
	T (°C)	9.80	10.70	12.30	14.80	18.60	22.10	26.50	27.60	23.40	18.00	13.20	9.80	17.23		

Source CFT - 2013

3.5.2 Paramètres climatiques :

3.5.2.1 Précipitations :

Le climat est facteur déterminant qui se place en amont de toute étude relative au fonctionnement écologique dont les facteurs climatiques jouent un rôle prépondérant dans la distribution spatiale des espèces végétales (**DREUX, 1980**).

Selon **HALIMI (1980)**, l'Algérie est envahie soit par des masses d'air polaire océanique froid et humide, soit par des masses d'air tropical chaud et humide de l'atlantique sud (anticyclone des Açores), enfin soit par des masses d'air tropical continental (anticyclone saharien).

3.5.2.1.1 Les régimes pluviométriques :

Le rythme et la distribution des précipitations sont primordiaux, puisque l'existence d'une période de sécheresse estivale est le facteur écologique majeur permettant d'expliquer les caractères particuliers des forêts méditerranéennes et la mise en place d'un nombre très élevé des types forestiers (**MEDAIL et QUEZEL, 2003**).

Dans ce même sujet **HALIMI (1980)**, signale que les régimes pluviométriques sont influencés, par deux groupes de facteurs à savoir les facteurs géographiques (Altitude, latitude, orientation des versants) et les facteurs météorologiques (masses d'air, trajectoires des dépressions).

a) Régime mensuelle :

Les graphes qui suivent mettent en évidence les particularités des précipitations mensuelles enregistrées dans chaque station de référence.

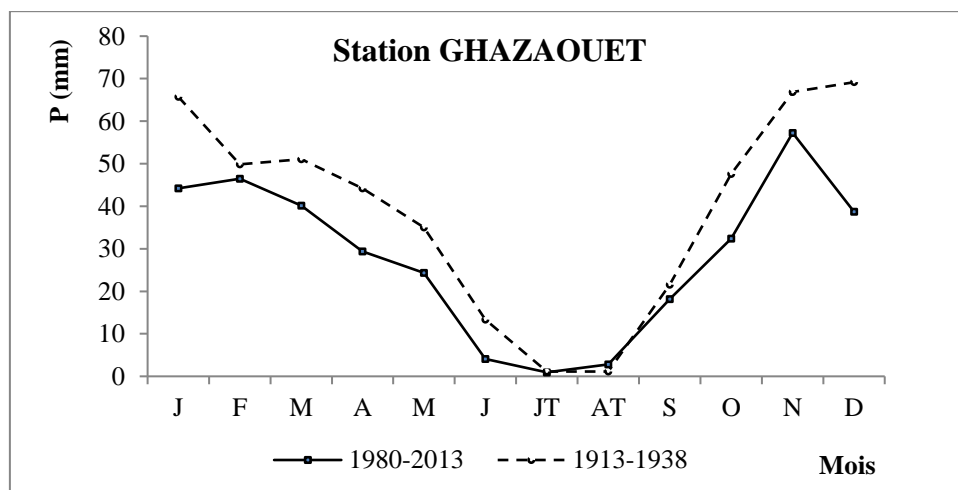


Figure 19 : Moyenne mensuelle des précipitations (station de GHAZAOUET)

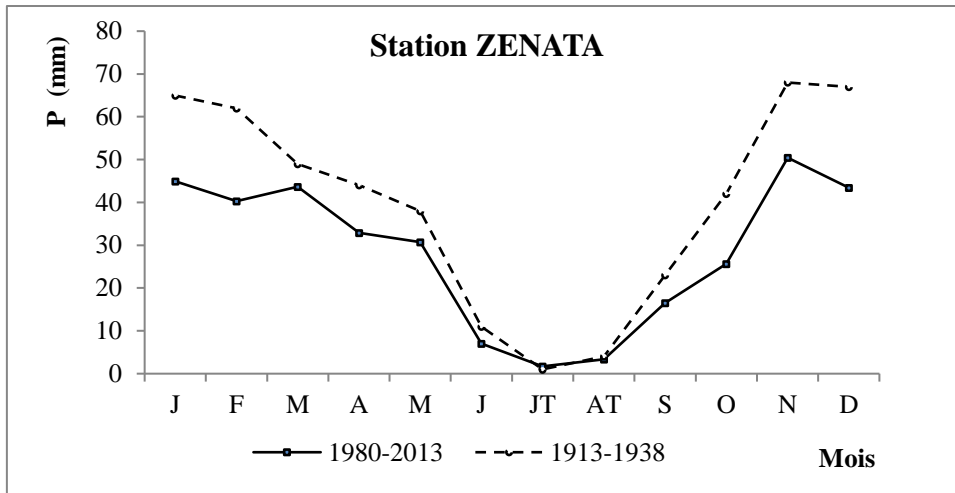


Figure 20 : Moyenne mensuelle des précipitations (station de ZENATA)

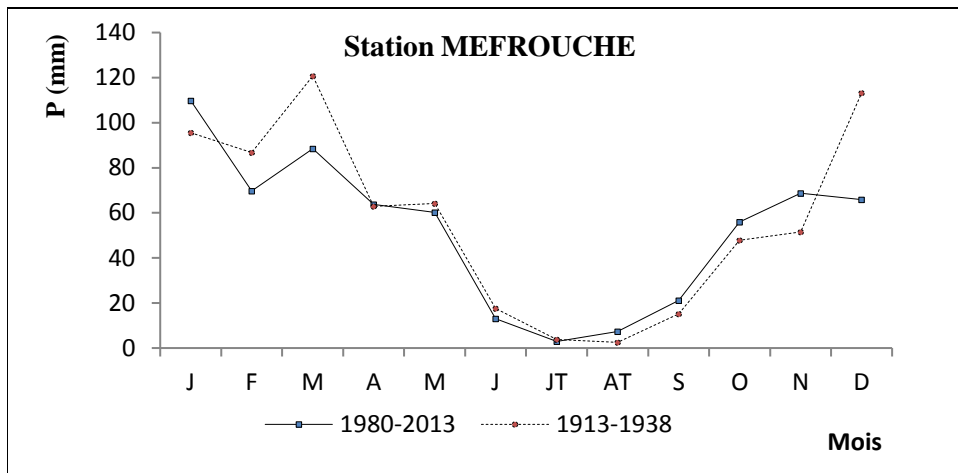


Figure 21 : Moyenne mensuelle des précipitations (station de MEFROUCHE)

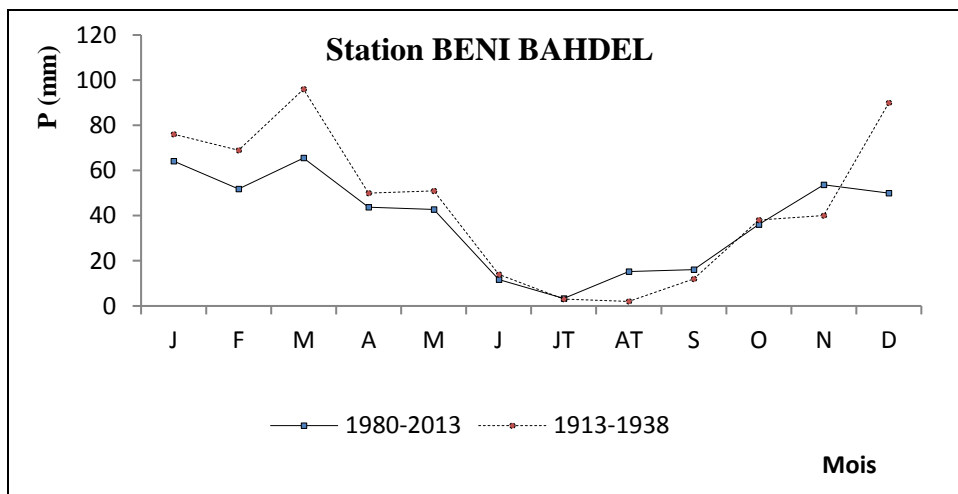


Figure 22 : Moyenne mensuelle des précipitations (station de BENI BAHDEL)

A travers l'analyse des graphes ci-dessus (ancienne et nouvelle période), on constate que :

- ✓ Pour chaque station les précipitations avoisinent des valeurs minimales durant les mois de juin, juillet et août et commencent à augmenter à partir du mois de septembre.
- ✓ Pour la station de GHAZAOUET le mois de novembre est le plus pluvieux durant la nouvelle période et celui de décembre pour l'ancienne période.
- ✓ Pour la station de ZENATA le mois de novembre est le plus pluvieux durant les deux périodes.
- ✓ La station de MEFROUCHE enregistre un maximum de précipitation durant le mois de janvier pour la nouvelle période et le mois de mars pour l'ancienne période.
- ✓ Le mois de mars constitue le mois le plus pluvieux durant les deux périodes pour la station de BENI BAHDEL.
- ✓ La saison estivale se caractérise par des précipitations faibles pour les stations de GHAZAOUET et ZENATA, alors que les deux autres stations sont plus arrosées.

b) Régime saisonnier :

Le régime pluviométrique saisonnier, tel qu'il a été défini par **MUSSET (1935, in MEDDOUR, 2010)** consiste à calculer la somme des précipitations par saison (hiver, printemps, été et automne). Ensuite, on classe ces précipitations par ordre décroissant. Ce classement est utilisé pour caractériser le type climatique de la région.

Tableau 28 : Régime saisonnier des précipitations

Stations	Périodes	Eté	Automne	Hiver	printemps	Régime
GHAZAOUET	1913 -1938	15,6	136,06	184,83	130,3	HAPE
	1980-2013	7,82	107,8	129,38	93,85	HAPE
ZENATA	1913 -1938	16	133	194	131	HAPE
	1980-2013	12,05	92,55	128,7	107,27	HPAE
MEFROUCHE	1913 -1938	23,9	114,48	295,61	247,83	HPAE
	1980-2013	23,2	145,79	245,47	212,48	HPAE
BENI BAHDEL	1913 -1938	19	90	235	197	HPAE
	1980-2013	30,3	105,79	166,06	152,06	HPAE

D'après les résultats obtenus on remarque une stabilité du régime saisonnier du type HPAE des stations BENI BAHDEL et MEFROUCHE durant les deux périodes de référence. C'est aussi le cas de la station de GHAZAOUT qui a gardé le même régime saisonnier du type HAPE.

Pour la station de ZENATA le régime saisonnier était du type HAPE durant l'ancienne période, il est devenu HPAE pendant la nouvelle période.

C'est-à-dire, pour les stations de BENI BAHDEL, MEFROUCHE, et ZENATA (nouvelle période) le maximum des précipitations est observé pendant l'hiver et le printemps, alors que pour la station de GHAZAOUET et ZENATA (ancienne période) les saisons les plus pluvieuses sont l'hiver et l'automne.

3.5.2.2 Températures :

3.5.2.2.1 Températures moyennes mensuelles et annuelles :

La température moyenne à l'échelle du bassin méditerranéen demeure bien le facteur écologique déterminant des grandes successions altitudinales de la végétation avec cependant des variations d'ordre géographiques en particulier pour des massifs situés à des altitudes identiques, mais sous des longitudes différentes où le facteur climatique de deuxième ordre intervient (**BARBERO et QUEZEL, 1984**).

La température est le second facteur climatique qui influe sur le développement de la végétation. **MULLENBACH (2001)**, note que les températures extrêmes et les déficits en calories sont les causes principales de limite des aires de répartitions des végétaux.

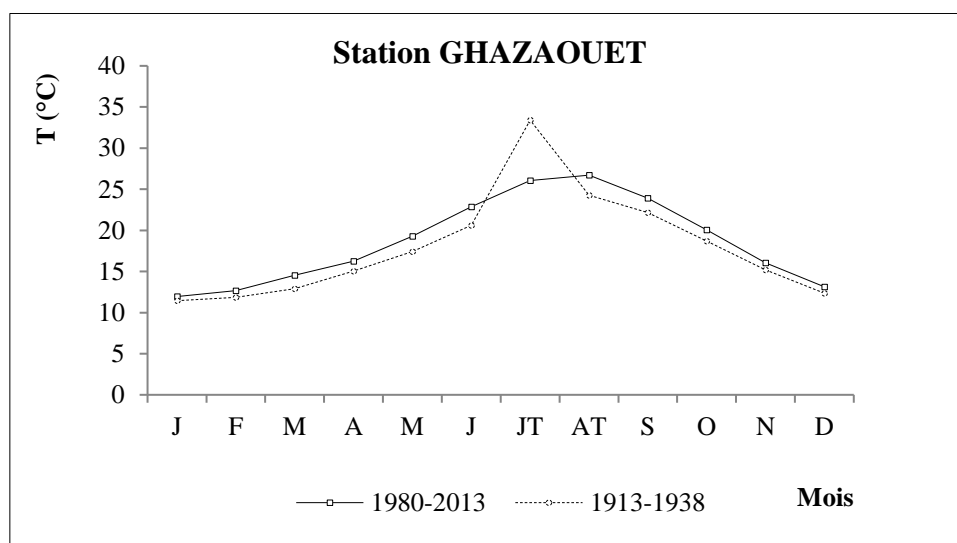


Figure 23 : Moyenne mensuelle des températures (station de GHAZAOUET)

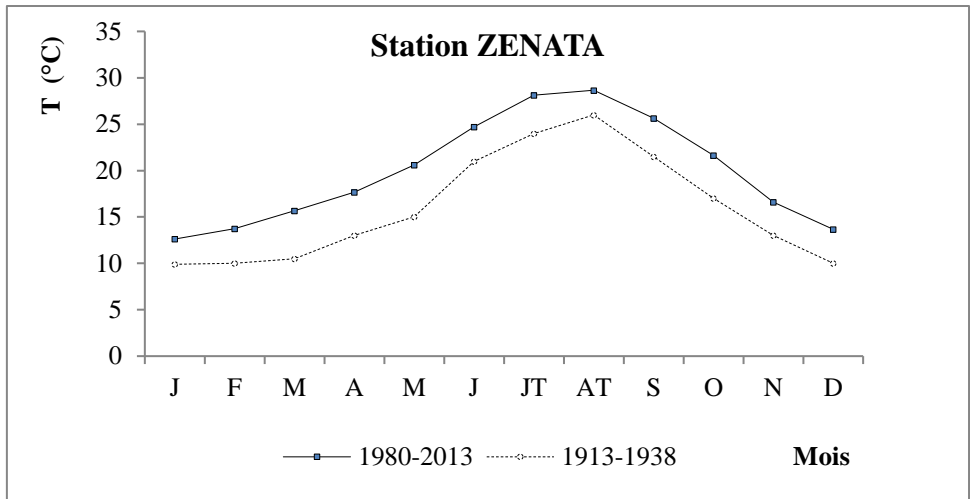


Figure 24 : Moyenne mensuelle des températures (station de ZENATA)

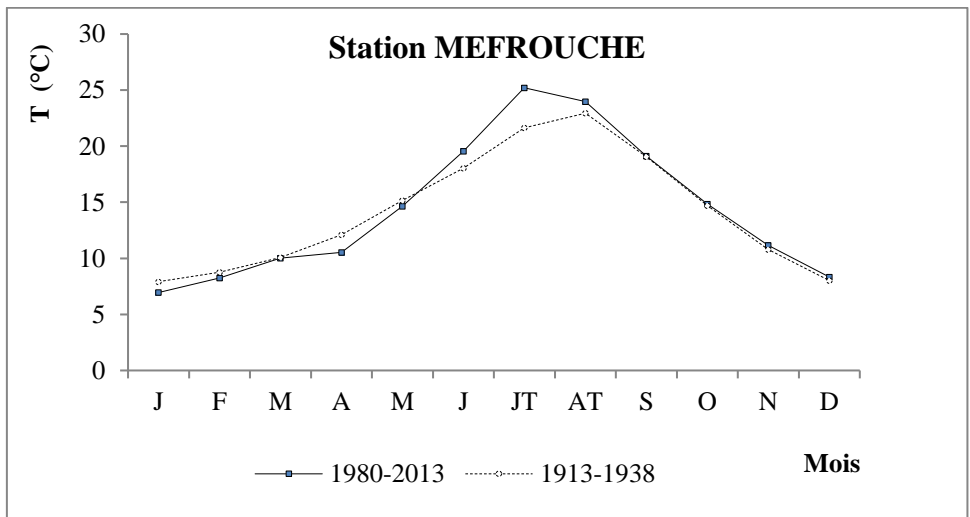


Figure 25 : Moyenne mensuelle des températures (station de MEFROUCHE)

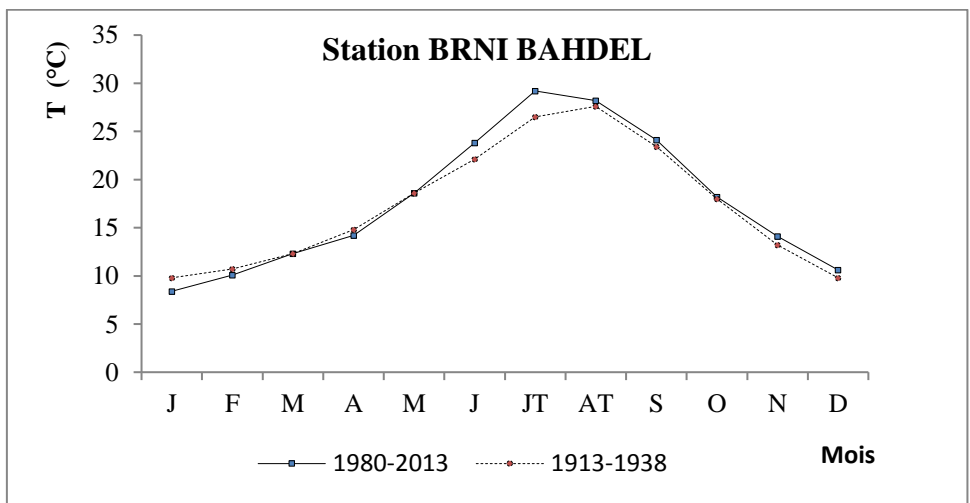


Figure 26 : Moyenne mensuelle des températures (station de BENI BAHDEL)

La lecture des températures moyennes mensuelles des deux périodes et pour les 4 stations météorologiques permet de constater qu'il ya une éventuelle augmentation de la température durant la nouvelle période par rapport à l'ancienne, mais cette augmentation ne s'exprime pas par la même façon pour les 4 stations :

- Pour la station de GHAZAOUET, l'écart thermique entre l'ancienne et la nouvelle période est très remarquable, sauf pour le mois de juillet où la température de l'ancienne période est élevée par rapport à la nouvelle période.
- Pour la station de ZENATA, un écart thermique s'observe nettement entre la nouvelle et l'ancienne période.
- Concernant la station de MEFROUCHE et BENI BAHDEL, l'écart thermique est constaté surtout durant la saison estivale (Juin, Juillet, Août).

3.5.3 Synthèse climatiques :

3.5.3.1 Amplitude thermique moyenne et indice de continentalité :

La classification thermique des climats proposée par **DEBRACH (1953)**, est fondée sur l'amplitude M-m :

- Climat insulaire : $M-m < 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Climat littoral : $15 \text{ }^{\circ}\text{C} < M-m < 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Climat semi- continental : $25 \text{ }^{\circ}\text{C} < M-m < 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Climat continental : $M-m > 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Tableau 29 : Indice de continentalité

Stations	Périodes	M (°C)	m (°C)	M-m (°C)	Type de climat
GHAZAOUET	1918-1938	29	7	22	Climat littoral
	1980-2013	30.30	6.92	23,38	Climat littoral
ZENATA	1918-1938	32	6.7	25,3	Climat semi- continental
	1980-2013	33.06	5.47	27,59	Climat semi- continental
MEFROUCHE	1918-1938	29.07	3.96	25,11	Climat semi- continental
	1980-2013	30.48	2.21	28,27	Climat semi- continental
BENI BAHDEL	1918-1938	34.20	5.20	29	Climat semi- continental
	1980-2013	34.2	3.1	31,1	Climat semi- continental

3.5.3.2 Indice de sécheresse estivale :

Selon **EMBERGER (1942)**, l'indice de sécheresse estivale (**Is**) est le rapport entre les valeurs moyennes des précipitations estivales P en mm et la moyenne des maxima thermiques de la

période estivale en M en (°c).
$$Is = \frac{P}{M}$$

Tableau 30 : Indice de sécheresse estivale

Stations	Périodes	Is
GHAZAOUET	1918-1938	0.57
	1980-2013	0.27
ZENATA	1918-1938	0,50
	1980-2013	0,37
MEFROUCHE	1918-1938	0,89
	1980-2013	0,81
BENI BAHDEL	1918-1938	0,59
	1980-2013	0,68

Selon toujours **EMBERGER (1942)**, cet indice est égal au maximum 7 pour le climat méditerranéen, pour **DAGET (1977)** cet indice ne doit pas dépasser 5. Dans le même sens **ALCAZAR (1969)** précise qu'en Oranie certaines essences forestières peuvent s'accorder avec les valeurs $Is < 2$.

L'intervalle de l'indice de sécheresse estivale trouvé par **ALCAZAR (1969)**, pour le thuya oscillé entre 0.41 et 0.91.

L'indice de sécheresse estivale calculé pour les stations de référence varie entre 0.5 et 0.89 durant l'ancienne période et de 0.27 à 0.81 pour la nouvelle période.

Les faibles valeurs obtenues confirment d'une part la déficience des précipitations et l'importance de la saison sèche.

3.5.3.3 Indice d'aridité DE MARTONNE (1926) :

Noté I, cet indice permet de déterminer le degré d'aridité d'une région. Pour le calculer, on

utilise la formule suivante :
$$I = \frac{P}{T + 10}$$

P désigne les précipitations totales annuelles et T la température moyenne annuelle.

Selon **DE MARTONNE (1926)** :

I < 5 : Climat hyperaride

5 < I < 7,5 : Climat désertique

$7,5 < I < 10$: Climat steppique

$10 < I < 20$: Climat semi aride

$20 < I < 30$: Climat tempéré

Tableau 31 : Indice d'aridité DE MARTONNE (1926)

Stations	Périodes	P (mm)	T+10 (°C)	I	Climat
GHAZAOUET	1918-1938	466.79	27.94	16.71	semi aride
	1980-2013	338.85	28.62	11.84	
ZENATA	1918-1938	474	25.90	18.30	
	1980-2013	340.57	29.95	11.37	
MEFROUCHE	1918-1938	681.82	24.10	28.29	Climat tempéré
	1980-2013	626.94	24.38	25.72	
BENI BAHDEL	1918-1938	541	27.30	19.87	semi aride
	1980-2013	446.76	27.65	16.15	

Les résultats obtenus positionnent les stations de GHAZAOUET, ZENATA et BENI BAHDEL dans un climat semi aride durant l'ancienne et la nouvelle période, par contre la station de MEFROUCHE est classée en climat tempéré.

3.5.3.4 Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN:

Le diagramme ombrothermique de **BAGNOULS** et **GAUSSEN (1953)**, permet de calculer la durée de la saison sèche. Il tient compte de la pluviosité moyenne mensuelle et de la température moyenne mensuelle qui sont reportées sur des axes où l'échelle de la pluviosité est le double de celle de la température.

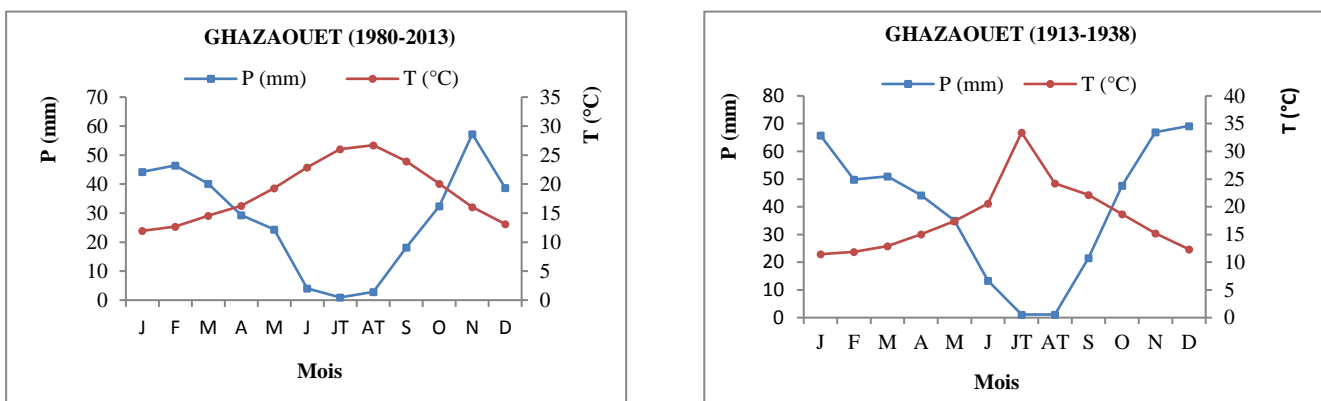


Figure 27 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (GHAZAOUET)

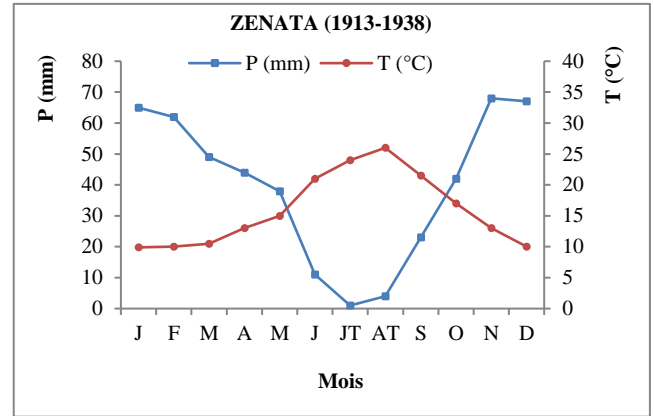
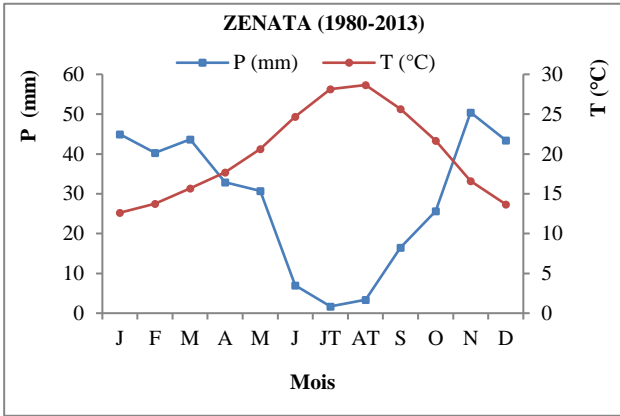


Figure 28 : Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (ZENATA)

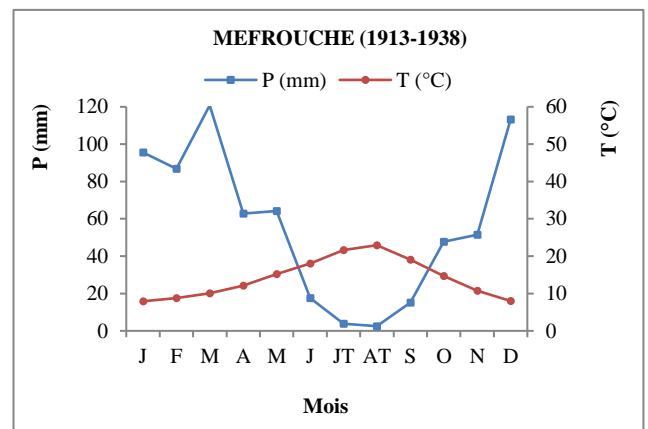
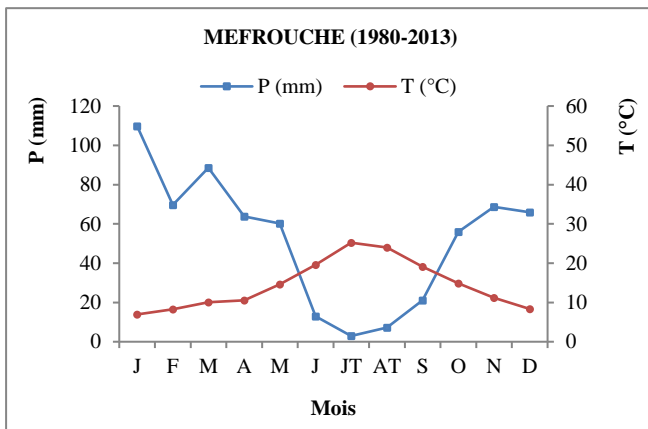


Figure 29 : Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (MEFROUCHE)

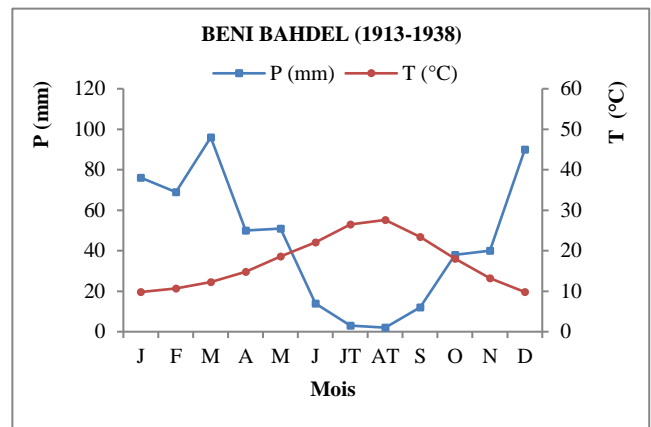
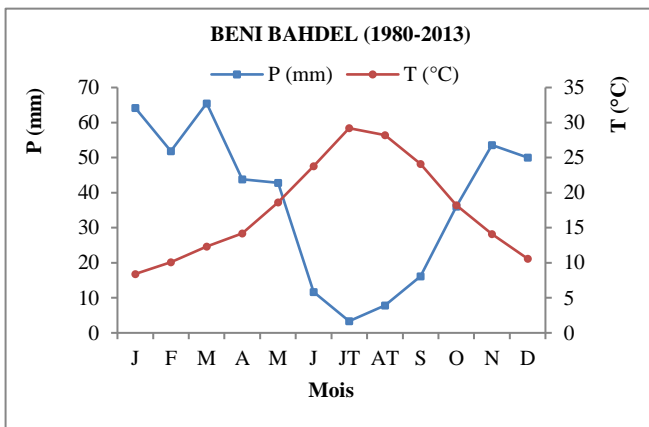


Figure 30 : Diagrammes ombrothermiques de BAGNOULS et GAUSSEN (BENI BAHDEL)

Selon les mêmes auteurs, un mois est dit biologiquement sec si le total mensuel des précipitations exprimées en millimètres est égal ou inférieur au double de la température moyenne, exprimée en degrés Celsius (°C).

L'examen des diagrammes ombrothermiques des stations météorologiques montrent que :

- pour la station de GHAZAOUET, la sécheresse s'étale depuis mi-mai jusqu'à la fin septembre pour l'ancienne période, et à partir du mois d'avril jusqu'au début octobre pour la nouvelle période.
- pour la station de ZENATA, on note plus de 4 mois de sécheresse à partir de la mi-mai à la mi-septembre pour l'ancienne période, par contre la sécheresse est enregistrée à partir du mois d'avril jusqu'à mi-octobre pour la nouvelle période.
- pour la station de MEFROUCHE, la période sèche commence à partir du mois de juin jusqu'au mois de septembre pour l'ancienne et la nouvelle période.
- concernant, la station BENI BAHDEL : la sécheresse commence à partir de mi-mai jusqu'à la fin de septembre pour l'ancienne période, et de mi-mai à la fin septembre pour la nouvelle période.

L'évolution progressive de la période sèche impose à la végétation une forte évapotranspiration, ce qui lui permet de développer des systèmes d'adaptation (réduction de la surface foliaire, développement des épines) modifiant ainsi le paysage en imposant une végétation xérophiile (MEZIANE, 2004).

3.5.3.5 -Le quotient pluviothermique d'EMBERGER (1952) :

Ce quotient est appliqué aux pays méditerranéens et du Sahara septentrional. Sur un graphique, on représente en abscisse les valeurs de la moyenne des minima du mois le plus froid et en ordonnée les valeurs de Q2 calculées suivant la formule :

$$Q2 = \frac{2000P}{M^2 - m^2}$$

P: moyenne des précipitations annuelles (mm).

M: moyenne des maxima du mois le plus chaud (°k).

m: moyenne des minima du mois le plus froid (°k).

T (°k) = T °C + 273,2.

Tableau 32 : Valeurs de Q2 et étages bioclimatiques

Stations	Périodes	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q2	Etage bioclimatique
GHAZAOUET	1918-1938	466.79	29	7	72,86	Sub-humide à hiver tempéré
	1980-2013	338.85	30.30	6.92	49,67	Semi aride à hiver tempéré
ZENATA	1918-1938	474	32	6.7	64,04	Semi aride à hiver tempéré
	1980-2013	340.57	33.06	5.47	42,21	Semi aride à hiver tempéré
MEFROUCHE	1918-1938	681.82	29.07	3.96	93,72	Sub-humide à hiver tempéré
	1980-2013	626.94	30.48	2.21	76,59	Sub-humide à hiver frais
BENI BAHDEL	1918-1938	541	34.20	5.20	63,69	Semi aride à hiver tempéré
	1980-2013	446.76	34.20	3.1	49,22	Semi aride à hiver tempéré

L'application du quotient pluviothermique sur les données climatiques récentes a révélé que les stations météorologiques de GHAZAOUET, ZENATA et BENI BAHDEL sont classées dans l'étage bioclimatique semi aride à hiver tempéré, alors que la station de MEFROUCHE est située en étage bioclimatique sub-humide à hiver frais.

Les données climatiques de la période ancienne (1913-1938) classent la station de GHAZAOUET en étage bioclimatique sub-humide à hiver tempéré, les stations de ZENATA et BENI BAHDEL en étage bioclimatique semi aride à hiver tempéré, et finalement la station de MEFROUCHE en étage bioclimatique sub-humide à hiver tempéré.

Nous constatons à travers ces résultats une diminution des valeurs de Q_2 malgré la stabilité de l'étage bioclimatique pour les stations de ZENATA, MEFROUCHE et BENI BAHDEL, sauf la station de GHAZAOUET qui a décalée du sub-humide à hiver tempéré au semi aride à hiver tempéré.

Donc il ya une accentuation du climat et un déplacement vers l'aridité, cette tendance d'aridification est confirmée par **BARBERO et QUEZEL (1995)** en Oranie mais avec un processus différent selon les régions.

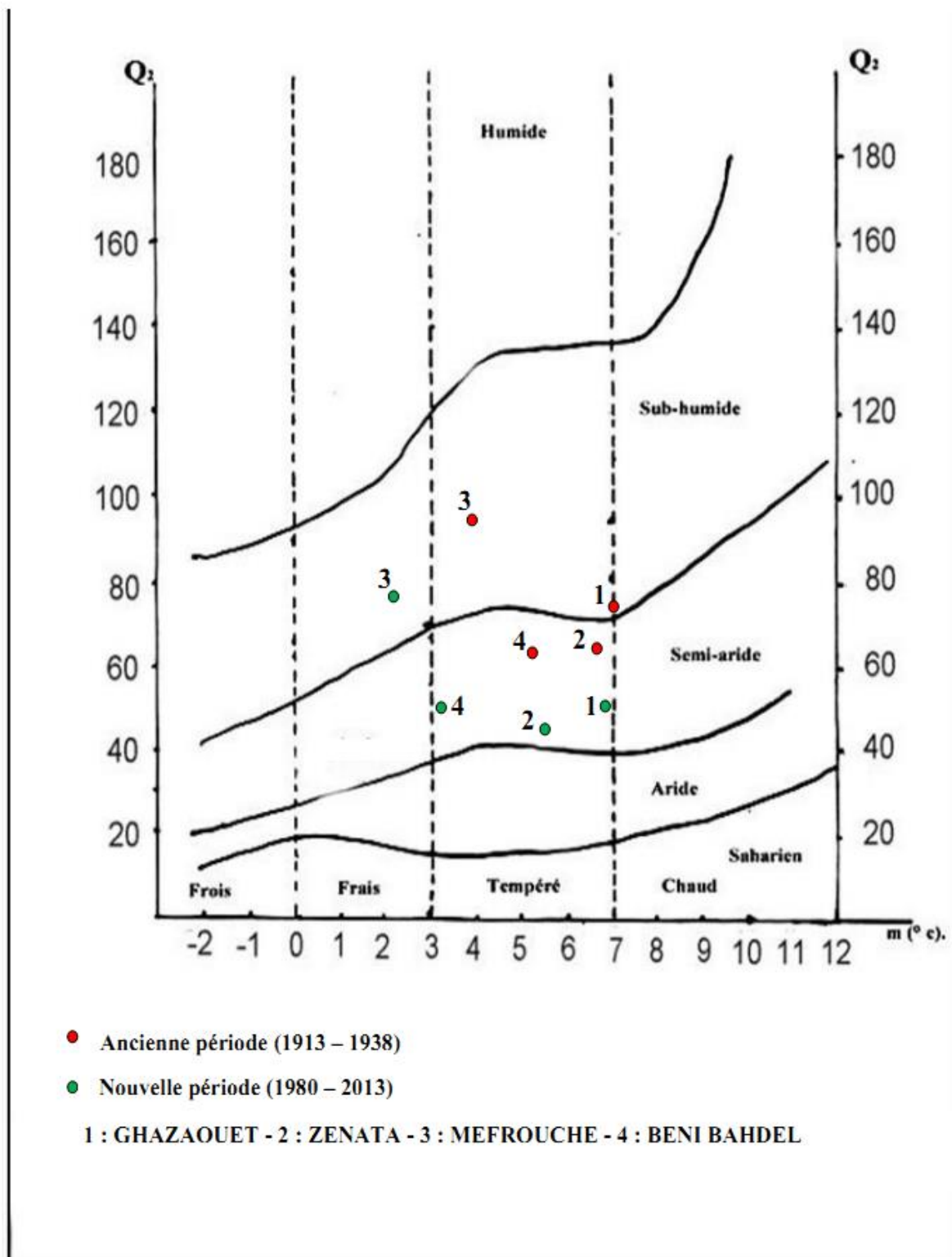


Figure 31 : Climagramme d'EMBERGER pour les stations de référence

3.6 Conclusion :

L'analyse du milieu physique a permis de constater la diversité qui constitue le paysage et l'ossature de chaque zone d'étude de point de vue hydrographique, géologique, pédologique, forestier et climatique.

En effet dans la région de Honaine, la disposition du relief ainsi que l'abondance des roches imperméables ont combiné leurs effets et ont permis la naissance d'un réseau hydrographique important, néanmoins la profusion des formations carbonatées prédispose largement cette zone au processus d'érosion.

Les facteurs physiques analysés dans la région d'AIN GHORABA, font bien apparaître la sensibilité de cette région, puisqu'elle est formée essentiellement de calcaire et dolomie. Ces deux roches sédimentaires plus ou moins dures sont facilement attaquables par les eaux de pluie.

A travers l'examen du contexte socioéconomique dans les deux régions d'études, il ressort que l'élevage surtout des ovins et l'agriculture constitue l'activité dominante de la population, mais le mode de conduite des exploitations reste toujours traditionnel ce qui influe sur la production.

L'action anthropozoïque suite à la charge élevée des animaux se traduit par une dynamique régressive de l'écosystème, ce qui perturbe l'équilibre écologique et par conséquent provoque l'évolution des formations à matorral.

Le potentiel forestier au niveau de la zone d'étude est dominé dans son ensemble par des formations basses (maquis). A Honaine les peuplements sont beaucoup plus denses à l'est qu'à l'ouest en raison de la configuration du relief. L'aspect contrasté de la végétation se présente de la même manière entre les versants nord bien arrosés et ceux du sud moins arrosés et souvent exposés aux vents secs.

Au niveau d'AIN GHORABA, le thuya se mélange avec le chêne vert, la prolifération des espèces épineuses telles que *Urginea maritima* et *Asphodelus microcarpus* indiquent la présence d'un surpâturage au niveau de cette zone.

D'une manière générale l'enjeu majeur du patrimoine forestier demeure sa préservation contre toute forme de dégradation notamment les incendies.

L'amélioration des infrastructures et des équipements forestiers, en particulier la densification et le maillage du réseau de pistes afin d'assurer une bonne accessibilité au potentiel sylvicole

et la multiplication des points d'eau, ainsi que le renforcement des TPF, doivent être étudiés de façon moderne et scientifique.

L'étude bioclimatique nous a permis de ressortir les remarques suivantes :

- Un changement climatique se manifeste entre l'ancienne et la nouvelle période par une augmentation des températures et une diminution des précipitations, donc un allongement de la période sèche et une tendance vers l'aridification.
- La majorité des stations sont situées dans l'étage semi-aride à hiver tempéré, à l'exception de GHAZAOUET pour l'ancienne période et MEFROUCHE pour les deux périodes.
- Une rétrogradation des positions de chaque station durant les deux périodes.
- La température et les précipitations divisent l'année en deux saisons distinctes, une période pluvieuse qui dure entre 6 à 7 mois et une période sèche, qui s'étale sur 5 à 6 mois consécutifs selon les stations de référence.

Chapitre 4 :
Matériels et méthodes

4.1 Introduction :

Dans cette étude, nous ferons référence aux méthodes d'estimation de la productivité des milieux forestiers à partir de placettes expérimentales préalablement choisies par échantillonnage stratifié.

Comme nous l'avons déjà signalé dans le chapitre 2, la productivité forestière peut être évaluée par trois méthodes ; une méthode dendrométrique directe ou le critère de productivité concerne la production totale de matière ligneuse, soit le volume total soit l'accroissement moyen annuel en volume ; une méthode dendrométrique indirecte, dans ce cas, le critère de productivité est défini par une caractéristique dendrométrique en liaison étroite avec la production totale en volume (la hauteur dominante par exemple) et enfin une méthode mixte qui s'appuie sur la combinaison entre les caractéristiques dendrométriques et les diverses variables du milieu (végétation, topographie, sol...).

Les deux premières méthodes sont essentiellement de nature dendrométrique, et s'adressent spécifiquement aux peuplements. Elles font intervenir des indices dendrométriques. Quant à la troisième, elle permet d'associer les indices dendrométriques et les divers facteurs de l'environnement sous forme d'indices mixtes.

Notre étude de productivité sera conduite en se basant sur les caractéristiques propres aux placettes et aux peuplements pour évaluer la biomasse (approche qualitative), mais aussi en tenant compte des relations entre la production des peuplements et les caractéristiques stationnelles les plus saillantes (approche quantitative).

Ce travail de recherche a pour but d'éclaircir les problèmes relatifs à la sylviculture (structure des peuplements) et la productivité du thuya en Oranie. Notre objectif principal est d'évaluer la productivité de l'essence dans les Monts de Tlemcen (région d'Ain Ghoraba) et les Monts des Trara (Région de Honaine) et de déterminer d'éventuelles relations entre cette productivité et les facteurs stationnels. Nous essayerons ainsi de décrire les indices de productivité propre à la tétraclinaie. Ces indices sont des témoins de qualité « stationnelle », basés sur le recueil de données qui doivent être faciles à mesurer et convenablement corrélés avec la production.

Dans une autre optique, afin de prédire l'évolution des peuplements forestiers, et ainsi faciliter l'aménagement nous avons établi un modèle de croissance en hauteur dominante propre au thuya afin d'étager la tétraclinaie en classes de fertilité.

Il s'agit finalement d'une part d'apprécier la productivité de l'espèce en fonction des facteurs de milieu, et d'utiliser d'autre part, la hauteur dominante comme indicatrice de fertilité par l'intermédiaire du modèle de JOHNSON- SCHUMACHER qui a donné lieu à un meilleur ajustement.

Nous présentons ensuite dans le dernier chapitre, les principaux résultats obtenus sous la forme d'équations et de courbes et nous les comparons à ceux obtenus dans plusieurs autres pays. Enfin nous préciserons quelques brèves conclusions et des perspectives d'aménagement.

La présente recherche a été ainsi conçue dans l'espoir de répondre à des préoccupations intimement liées à la gestion et l'aménagement des forêts de thuya dans l'ouest algérien, et de mettre à la disposition des gestionnaires forestiers un modèle de croissance lui permettant de prédire la croissance en hauteur dominante .

4.2 Méthodologie de travail :

Le protocole expérimental que nous avons mis en place comporte les étapes suivantes :

4.2.1 Assiette des placettes :

La méthode classique d'inventaire pied par pied des peuplements est longue, fastidieuse et couteuse (**PARDE et BOUCHON, 1988**). **RONDEUX (1993)**, signale que la réalisation d'un inventaire forestier est une question souvent très importante en matière de gestion forestière. Pour des raisons de temps et de budget, il est opportun ou nécessaire de recourir à l'échantillonnage.

L'hétérogénéité et la diversité des faciès, ont imposé une stratification aléatoire de l'échantillonnage. Les critères retenus pour la stratification ont concerné la densité du peuplement, l'altitude, l'exposition et la morphologie du terrain.

Les placettes de forme circulaire sont plus intéressantes et plus utilisables en raison de leur installation facile et rapide sur terrain. Ainsi elles permettent de réduire considérablement le nombre de cas douteux et d'appartenance ou non d'arbres à la placette (**RONDEUX, 1993**).

La délimitation d'une placette circulaire se fait à l'aide de la mire de PARDE, elle est composée d'une tige métallique graduée comportant deux repères cylindriques dont l'un qui coulisse peut s'écarter de l'autre à une distance telle que l'on veut. La mire est implantée verticalement au centre de la placette, la distance entre les deux bandes blanches est fixée selon la surface choisie de la placette, par la suite le rayon de la placette est déterminé à l'aide

d'un dendromètre Blume-liess. La distance entre les deux voyants de la mire peut être influencée par la pente du terrain.

Dans notre cas, nous avons installé des placettes de 5 ares de surfaces et de 8.92 m de rayon. La distance entre les deux bandes blanches de la mire de PARDE est fixée à 26.7 cm.

Tableau 33 : Localisation des placettes d'échantillonnage

Forêts	Placettes	Cantons
Honaine	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	Oued Regou
	8, 9, 10 11, 12, 13, 14, 15	Ras Elkoudia
	16, 17, 18, 19, 20, 21,22	Aghilel
	23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30	Oued Honaine
Ain Ghoraba	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13, 14, 15, 16, 17, 18, 19,20	Ain Fetouh (Dar El Arar)

A partir de l'installation de 50 placettes temporaires, nous avons pu réaliser nos mesures dendrométriques afin d'étudier la productivité du thuya dans la région de HONAINÉ et AIN GHORABA.

4.2.2 Mesures des caractéristiques stationnelles :

Les principales caractéristiques stationnelles, topographiques et pédologiques relevées permettant de définir les stations d'étude se résument comme suite :

- Altitude : mesurée à l'aide d'un altimètre
- Pente : déterminée par un clisimètre
- Exposition : orientée au moyen d'une boussole
- Profondeur du sol : déterminé par une tarière pédologique
- Taux de recouvrement

4.2.3 Mesures des caractéristiques dendrométriques :

4.2.3.1 Mesure des circonférences des arbres :

Les circonférences à 1.30 m du sol et au milieu du tronc de tous les arbres de la placette sont mesurées à l'aide d'un ruban mètre.

4.2.3.2 Mesure de la hauteur totale :

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

4.2.3.3 Mesure de l'âge des arbres dominants :

Les arbres dominants doivent être sains, ne présentant pas de signes pathologiques externes. En effet l'âge est mesuré par l'intermédiaire d'un sondage à la tarière de Pressler à 1.30 m du sol (BELGHAZI et al, 2000).

Le nombre de cernes comptés de la carotte prélevée à 1.30 m du sol donne l'âge de l'arbre. Pour une meilleure estimation de cette variable, il est utile d'ajouter 5 années au nombre obtenu pour compenser les 30 cm de souche (THAVAUD, 1979).

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

4.3 Elaboration des fiches de terrain :

Une fiche de terrain a été établie pour les placettes expérimentales situées dans les peuplements de thuya au niveau de la région de Honaine et celle d'Ain Ghoraba, nous présentons ci-dessous les paramètres retenus :

Tableau 34 : Fiche de terrain des placettes expérimentales

Commune :		Pente % :	
Lieu dit :		Exposition :	
N° placette :		Altitude :	
Surface placette :	05 Ares	Profondeur du sol :	
		Taux de recouvrement %	

N°	Hauteur (m)	Hauteur dominante (m)	C _{1,30 m} (cm)	C _{M.T} (cm)	Age
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					
08					
09					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					

4.4 Etude des structures :

4.4.1 La structure diamétrique :

Un peuplement forestier est décrit par sa structure à un instant donné. La structure est caractérisée par la densité, la distribution diamétrique et les répartitions verticales et horizontales des tiges (FAVRICHON *et al.*, 1998).

La structure diamétrique totale, ou répartition des tiges par classes de diamètre, est établie en prenant en compte tous les individus, toutes espèces confondues (ROLLET, 1974). Pour cela on utilise souvent un résultat d'inventaire qui donne pour chaque classe de diamètre le nombre de tiges. On peut facilement en déduire un graphique qui pourra être utilisé dans le cadre de l'aménagement ou la sylviculture (GAUDIN, 1996).

La structure diamétrique est porteuse d'informations sur la stabilité (équilibre) du peuplement. Son emploi peut s'avérer utile dans le cadre d'un exercice de modélisation de la dynamique forestière (FAVRICHON, 1995 ; GOURLET et FLEURY, 1997).

Pour notre zone d'étude, compte tenu du nombre très élevé des arbres échantillonnés le regroupement du thuya par classes de circonférence s'avère un choix pertinent.

Les circonférences mesurées des arbres au niveau des 50 placettes, ont été regroupés ci-dessous en 5 classes, le but est de les décrire et de représenter graphiquement la composition et la structure du peuplement.

Les classes de circonférences établies sont :

- ✓ Classe 1 : 0 – 20 cm
- ✓ Classe 2 : 20 – 40 cm
- ✓ Classe 3 : 40 – 60 cm
- ✓ Classe 4 : 60 – 80 cm
- ✓ Classe 5 : 80 – 100 cm

4.4.2 La structure verticale :

La structure verticale représente la distribution des individus par classes de hauteur ; elle offre l'intérêt de pouvoir fournir un indicateur de richesse du site (LETREUCH BELAROUCI, 2009).

Les hauteurs des arbres échantillons dans les 50 placettes sont regroupées en classes pour faciliter leurs représentations graphiques. Les classes établies sont :

- ✓ Classe 01 : 1 – 3 m
- ✓ Classe 02 : 3 – 5 m
- ✓ Classe 03 : 5 – 7 m
- ✓ Classe 04 : 7 – 9 m
- ✓ Classe 05 : Plus de 9 m

Ainsi, les courbes de répartition des hauteurs moyennes à Honaine et à Ain Ghoraba ont été réalisées.

4.5 Appréciation de la productivité du peuplement étudié :

L'une des caractéristiques importantes d'un peuplement forestier que le sylviculteur désire connaître avec précision est sa production de bois (**GARBAYE et al, 1970**). Cette production, en terme sylvicole correspond au volume de l'arbre avec ou sans les branches.

Le volume est évalué à partir des méthodes de cubage utilisant des caractéristiques simples telles que les diamètres (ou les circonférences) et les hauteurs mesurées sur des arbres bien choisis et répartis de la façon la plus représentative des milieux de croissance (**BENTOUATI, 2006**).

Selon sa forme, l'arbre peut être assimilé à un type dendrométrique donné : Cylindre, de tronc de cône ou tronc de néloïde (**HUSCH,1972; PARDE et BOUCHON, 1988**).

Les variables dendrométriques relatives à la productivité des peuplements étudiés dans les deux zones d'étude se présentent comme suites :

4.5.1 Variables transformées :

Après la récolte des données sur terrain, sur un total de 50 placettes réparties dans des peuplements aussi réguliers que possibles, il a été procédé au calcul des variables dendrométriques relatives à la productivité pour chaque placette (**ALDER, 1980**). Ces variables sont :

- Nombre de tiges par hectare (N)
- Diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (Dg)
- Surface terrière du peuplement (G)
- La hauteur moyenne du peuplement (H)
- La hauteur dominante du peuplement (H_{dom})
- Le volume (V) :

4.5.1.1 Nombre de tiges par hectare (N) : il est obtenu en divisant le nombre total d'arbres vivants sur la placette par la surface totale de la placette

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

Avec :

n : Nombre des arbres de la placette

S : surface de la placette (0,05 ha)

4.5.1.2 Diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (Dg) : c'est la moyenne quadratique des diamètres, obtenue en additionnant les carrés des diamètres, en divisant par le nombre d'arbres de la placette et en prenant la racine carrée du résultat.

$$Dg = \sqrt{\sum d_i^2 / n}$$

Avec :

n : Nombre des arbres de la placette

d_i : diamètre de l'arbre

4.5.1.3 Surface terrière du peuplement (G) : elle est obtenue en multipliant par $\pi/40000$ $\sum d_i^2$ et en divisant le résultat par la surface de la placette.

$$G = \left(\sum d_i^2 \times \pi / 40000 \right) / s$$

Avec :

s : surface de la placette

d_i : diamètre de l'arbre

4.5.1.4 La hauteur moyenne du peuplement (H) : c'est la moyenne des hauteurs de tous les arbres de la placette.

$$H = \sum_{i=1}^N h_i / n$$

Avec :

n : nombre des arbres de la placette

h_i : hauteurs des arbres

4.5.1.5 La hauteur dominante du peuplement (H_{dom}) : elle est évaluée comme la moyenne des hauteurs des arbres de l'échantillon dominant, c'est-à-dire ici les cinq plus grands arbres de la placette.

$$H_{DOM} = \sum_{i=1}^N H_o / 5$$

Avec :

H_{DOM} : la hauteur dominante moyenne de la placette

H_o : hauteurs des arbres dominants de la placette

4.5.1.6 Le volume (V) : pour calculer le volume (V) nous utiliserons la formule suivante (PARDE et BOUCHON, 1988) :

$$V = f \left(\pi \times \frac{d^2}{4} \right) \cdot h$$

Avec :

V : Volume

f : coefficient de forme

d : diamètre à 1.30 m

h : hauteur totale

Le coefficient de forme « f » qui exprime la décroissance du fût du bas vers le haut se calcul à partir de coefficient de décroissance **K** qui est le rapport entre la grosseur (le diamètre) au milieu du tronc et celle à hauteur d'homme. Entre « f » et « K » il est admis que $f = K^2$

En additionnant les volumes et en les divisant par la surface de la placette, on obtient le volume par hectare.

4.6 Relation entre la productivité et les facteurs stationnels :

4.6.1 Variables retenues :

La productivité du thuya est influencée par les différents facteurs du milieu qu'ils soient biologiques ou physiques. En effet, la productivité de l'espèce fluctue en fonction des variations de ces facteurs.

Dans nos zones d'études, on s'est limité aux facteurs stationnels qui paraissent à première vue en étroite liaison avec la croissance des peuplements de thuya, ces variables facilement

mesurables par les gestionnaires forestiers sont soulignées dans divers travaux : **DECOURT et al, 1979 ; LEGOF et LEVY, 1984 ; TIMBAL et al, 1985 ; TOTH, 1987 ; GILBERT et CHEVALIER, 1994 ; BOISSEAU, 1996 ; BROCHIERO et al, 1999 et KHERCHOUCHE, 2003.**

Les variables stationnelles retenues pour la caractérisation de la productivité des tétraclinaies sont :

4.6.1.1 Variables topo-climatiques :

La topographie influe sur les données climatiques et édaphiques, ce qui conditionne la croissance des végétaux, les variables topo-climatiques retenues sont :

- **L'altitude :**

L'altitude conditionne les températures et la pluviométrie, en effet une augmentation d'altitude provoque une augmentation des précipitations et une diminution des températures. Ainsi l'altitude est responsable de l'étagement de la végétation en zone de montagne.

- **L'exposition et la pente :**

La pente joue un rôle important dans le bilan hydrique des sols, ainsi l'exposition est un facteur déterminant pour les végétaux héliophiles.

4.6.1.2 Variables édaphiques :

Comme le signale **BOUDY, 1950 et TIMBAL, 1973**, les variables édaphiques sont à l'origine des variations. Cependant une faible profondeur du sol semble être un facteur limitant de la croissance des essences forestières car il empêche le développement du système racinaire.

4.6.2 Analyse en composantes principales (ACP) :

Cette méthode est utilisée pour établir une typologie des placettes à partir de plusieurs variables descriptives du peuplement d'arbres, de tiges ou du sol. Le tableau de données comprend donc en lignes les placettes et en colonnes les variables. Celles-ci sont quantitatives et s'expriment dans différentes unités (**BLANC, 1998**). Les valeurs des variables sont donc centrées et réduites (**LETREUCH BELAROUCI, 2009**).

L'analyse en composantes principales est basée sur l'étude des corrélations entre variables, les résultats sont donnés sous forme de représentations graphiques (**FOUCART, 1985**).

En ce qui nous concerne, les variables portées pour faire l'analyse en composantes principales sont :

- Volume des arbres
- Variables stationnelles : pente, altitude, profondeur du sol.

Comme l'analyse en composante principale est une méthode conçue pour le traitement des variables quantitatives, donc les variables qualitatives (expositions) ne sont pas prises en considération dans cette analyse.

Une analyse en composante principale est réalisée afin de confirmer les relations qui existent entre la productivité de l'espèce et les facteurs retenus.

4.7 Modélisation de la croissance et de la productivité :

Depuis le début des années 60, la modélisation de la croissance forestière a connu un développement accéléré. La diversité des situations et des approches de modélisation conduite à poser le problème de classification des modèles pour rechercher leurs différences et les liens qui les unissent.

Les tables de productions ont constitué le premier modèle simple de suivie et de prévision de la productivité des peuplements forestiers, avec le temps les dendrométriciens ont développé des modèles de plus en plus complexes, destinés à améliorer la qualité et la précision des prédictions. Parmi cette harmonie des modèles qui existent, on a tenté de choisir un modèle peuplement qui décrit et prédit la dynamique de la croissance et de la productivité basé sur la hauteur dominante à un âge de référence donnée.

Le choix d'un modèle de croissance de la hauteur dominante peut alors être fait selon deux approches, polymorphique et anamorphique (**BELGHAZI et al, 2000**).

Dans l'approche polymorphique, chaque courbe de croissance représente une classe de fertilité donnée définie par la hauteur dominante à un âge de référence donné. Ces courbes reflètent des milieux de croissance différents et sont construites à partir des données résultant de plusieurs mesurages des placettes permanentes ou d'analyses de tiges (**DUPLAT, 1986**). C'est une approche objective et précise, mais elle nécessite des mesures diachroniques dans des placettes permanentes ou des analyses de tiges.

En l'absence de placettes permanentes et dans l'impossibilité de faire des analyses de tige, cette méthode trop coûteuse et destructive (perte de matériel dans des peuplements très performants), ne peut être retenue.

Dans notre recherche, nous avons adopté l'approche anamorphique qui à défaut de mesures diachronique est la plus souvent utilisée (BELGHAZI et al, 2000).

Cette méthode considère que, quel que soit le milieu de croissance, l'accroissement en hauteur est constant. Elle consiste à ajuster une courbe moyenne (ou courbe guide) au nuage de points à partir de laquelle seront matérialisés les différents niveaux de productivité représentant les différentes classes de fertilité. Elle suppose que la croissance suit une évolution parallèle dans toutes les stations (RONDEUX, 1999 ; M'HIRIT, 1982 ; BELGHAZI, 2000).

4.7.1 Principe adopté :

Les courbes de productivité permettent de retracer l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge du peuplement (PAUWELS et RONDEUX , 2002) ; à partir de cette définition il est possible de dire que la croissance en hauteur dominante pour une espèce donnée dans une région donnée se décrit par un faisceau de courbes étagées qui ne se recoupent pas, chaque peuplement suit au cours du temps une courbe du faisceau quelle que soit la sylviculture qu'il subit ; le niveau de cette courbe dans le faisceau est l'indice de fertilité du peuplement ; il est déterminé par la station (ABBAS, 1986).

L'indice de productivité peut être défini en utilisant les courbes qui décrivent l'évolution de la hauteur dominante en fonction de l'âge. Connaissant l'âge et la hauteur dominante du peuplement, il est en effet possible d'estimer la hauteur dominante du peuplement atteinte à un âge de référence. Celle-ci caractérise l'indice de productivité de la station vis-à-vis de l'essence considérée (PAUWELS et RONDEUX, 2002).

4.7.2 Choix du modèle de croissance :

Choisir un modèle de croissance et un âge de référence sont les éléments de base pour définir l'indice de site, ou hauteur dominante à l'âge de référence retenu. Cet âge de référence est généralement de 50 ans pour les résineux et 100 ans pour les feuillus (LETREUCH BELAROUCI, 1994).

L'âge de référence doit être le plus possible proche de l'âge actuel du peuplement, sinon l'évaluation de l'indice de site sera incertaine (BELGHAZI et al, 2000).

Dans notre cas, nous avons retenu un âge moyen de 40 ans, proche de l'âge actuel du peuplement étudié.

On cherche à ajuster au faisceau de courbes de croissance fournies par les couples (H_{dom} , âge) un modèle mathématique du type : $h_t = f(\text{âge})$.

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

Age_t = âge de l'arbre au temps t.

Parmi tous les modèles de croissance testés celui de JOHNSON-SCHUMACHER a donné lieu à un meilleur ajustement, d'ailleurs confirmé par la valeur des paramètres globaux d'ajustement (coefficient de détermination R^2 et écart-type résiduel...), par la dispersion équilibrée des résidus et la bonne concordance entre accroissements estimés et accroissements issus de remesurages de placettes.

Le modèle de JOHNSON-SCHUMACHER se présente sous la forme générale suivante :

- Modèle de JOHNSON-SCHUMACHER [PAUWELS, 2003] :

$$H_{DOM} = b_0 \cdot \exp(-b_1 / (A - b_2))$$

Avec H_{DOM} : Hauteur dominante

b_0, b_1, b_2 : Paramètres à estimer.

A : Age absolu (l'âge de l'arbre compté à partir de la germination de la graine qui lui a donné naissance).

Le modèle de JOHNSON (1935) et SCHUMACHER (1939), repris par GROSANBAUGH (1965), peut être envisagé pour des phénomènes où la vitesse de croissance maximale a lieu dans les premiers tiers de la croissance totale, il correspond à une forme de croissance particulièrement rapide au début puis lente vers la fin du phénomène (DEBOUCHE, 1979).

L'estimation des paramètres du modèle a été effectuée après linéarisation, par la technique de la régression linéaire. La régression simple ou multiple des moindres carrés permet la réalisation de l'ajustement d'une série d'équations sur l'image des points (LETREUCH BELAROUIC, 1998).

Dans notre cas l'ajustement est réalisé par le logiciel (Statistica 10) qui permet la régression non linéaire multiple.

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

4.7.3 Qualité de précision du modèle choisi :

La qualité des ajustements est étroitement liée à sa précision, celle-ci est évaluée par plusieurs paramètres statistiques (arithmétiques et graphiques) parmi lesquelles on se contentera de ceux-ci :

- **Le coefficient de détermination (R^2) :**

Le coefficient de détermination (R^2) est un indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire, simple ou multiple. D'une valeur comprise entre 0 et 1, il mesure l'adéquation entre le modèle et les données observées. Certes, le R^2 a ses imperfections, mais son utilité n'a d'égale que sa simplicité. Le (R^2) se définit comme la part de variance expliquée par rapport à la variance totale (RABHI, 2011).

Il est exprimé par la formule suivante :

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

- **L'AIC (Akaike Information Criterion) :**

C'est un outil efficace pour le choix et la sélection du modèle qui représente le mieux la réalité du terrain (BEAL, 2005). Il est basé sur la méthode du maximum de vraisemblance dont les résultats et le principe seraient identiques avec la méthode des moindres carrés. En fait, l'AIC évalue la ressemblance entre le modèle estimé et le modèle « réel théorique », donc les meilleurs modèles montrent des valeurs minimales d'AIC.

Il est fonction du nombre d'observation (n), de la somme des carrés des résidus (SCR) et du nombre de variables, comme le montre la formule suivante (RABHI, 2011) :

$$AIC = n \cdot \ln \left(\frac{SCR}{n} \right) + 2p$$

- **Carré moyen résiduel (CMR) :**

Appelé aussi variance résiduelle sans biais. C'est un indicateur des écarts entre les observations et les estimations du modèle, il représente la moyenne arithmétique des carrés des écarts entre les prévisions et les observations, le modèle est d'autant plus efficace que le CMR tend vers zéro. L'avantage de son utilisation par rapport à la moyenne des résidus (MR) est qu'il tient compte du nombre de paramètre surtout en cas d'une

régression multiple. Il est formulé par l'équation suivante (p étant le nombre de paramètres dépendants et indépendants) (PAUWELS, 2003) :

$$\text{CMR} = \frac{1}{n-p} \sum_{j=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

- **Analyse des résidus :**

Les testes arithmétiques précédemment énumérés s'avèrent insuffisants pour contrôler la qualité d'un modèle construit, ils n'estiment que l'examen visuel, or les comportements qualitatifs des résidus sont essentiels pour se prononcer sur la validation et la cohérence des modèles (FONWEBAN et HOULLIER, 1995). Ces teste supplémentaires sont présentés comme suit :

- **Histogramme des résidus :** c'est un examen visuel qui permet de vérifier la normalité des résidus ainsi que leur moyenne nulle
- **Tracée normal des résidus :** dans le cadre d'une régression ou d'un lissage, on peut visualiser la droite de Henry des résidus afin de s'assurer que leur distribution ne s'éloigne pas trop d'une loi normale. Elle permet en outre de détecter d'éventuelles valeurs aberrantes.

4.8 Etablissement des courbes de fertilité et fixation des niveaux de productivité :

On cherche ici à analyser et a modéliser un processus de croissance à partir de données expérimentales, on a traditionnellement recours à une équation de croissance (encore appelée modèle de croissance) comportant un faible nombre de paramètres. Elle correspond à une courbe sigmoïde : la vitesse de croissance passe par un maximum avant de décroître progressivement, comme on l'observe généralement pour la croissance en hauteur dominante. Les paramètres de cette équation sont ajustés au sens statistique aux données, c'est-à-dire de façon à ce que le modèle s'approche au mieux des courbes observées, issues des mesures (BONTEMPS et al., 2007).

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

La construction d'un faisceau de courbes de productivité peut être envisagée au départ de différentes données de base issues de placettes temporaires, de placettes semi-permanentes ou encore d'analyses de tige. Les placettes temporaires sont mesurées une seule fois et caractérisent le statut dendrométrique de peuplements différents à un instant donné, sans prendre en considération la cinétique de croissance. Les placettes semi-permanentes sont mesurées à plusieurs reprises contrairement aux placettes permanentes qui sont considérées sur toute la vie du peuplement. Elles ne fournissent donc qu'une information fragmentaire quant à l'évolution de la croissance en hauteur. Les analyses de tige permettent de retracer toute l'évolution de la croissance en hauteur en fonction de l'âge d'un certain nombre d'arbres abattus choisis du fait de leur statut dominant au sein du peuplement et partant de l'hypothèse qu'ils ont toujours été dominants (ou co-dominant) au cours du temps **PAUWELS, 2003**).

Nous avons opté pour l'exploitation des données issues des placettes temporaires car cette méthode est la plus rapide et la plus cohérente, voire la plus recommandée sur le plan théorique, pour déterminer la forme des courbes de croissance.

Le faisceau des courbes établis permet de fixer les niveaux de productivité ou encore de classer les peuplements étudiés selon leurs potentialités productives. Chaque niveau est lui-même représenté par la courbe de croissance de la hauteur dominante en fonction de l'âge des peuplements. L'intérêt des courbes de productivité est de pouvoir situer les peuplements dans des classes de productivité.

Les niveaux de productivité de référence (site index) correspondent généralement à des valeurs de hauteur dominante atteinte à un âge déterminé. Dans ce cas, on détermine des classes de productivités correspondantes à des intervalles égaux de hauteur dominante à un âge de référence fixé.

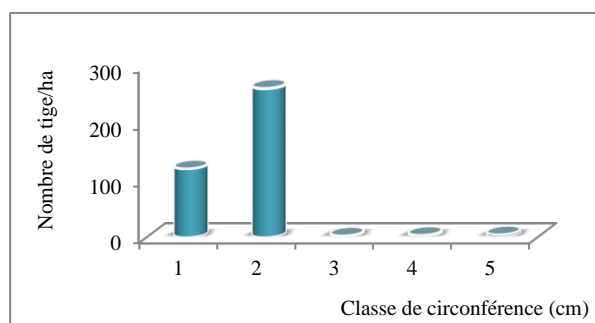
A partir des hauteurs et des âges mesurés dans l'ensemble des placettes d'échantillonnage, et la représentation graphique du nuage de points (hauteur dominante, âge) de l'ensemble des données recueillies, il nous a paru logique de distinguer plusieurs niveaux de productivité, ces niveaux reflètent le potentiel qu'offre le thuya dans l'ouest algérien.

Chapitre 5 :
Résultats et discussions

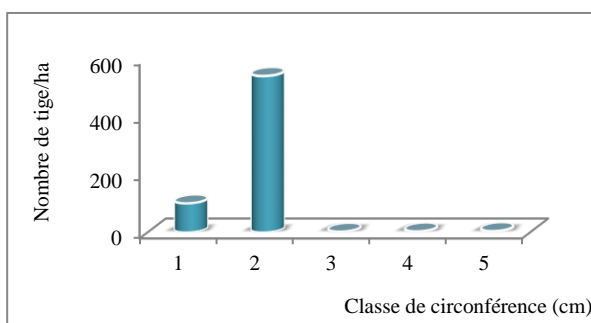
5.1 La structure diamétrique de la Tétracinaie :

Les principales caractéristiques stationnelles, topographiques et pédologiques permettant de définir les placettes d'échantillonnage et le peuplement de thuya étudié figurent en annexes (Annexes 01 et 02). Ces tableaux ont été enrichis par un certain nombre des paramètres dendrométriques servant à la description de la tétracinaie (circonférence, hauteur, âge...).

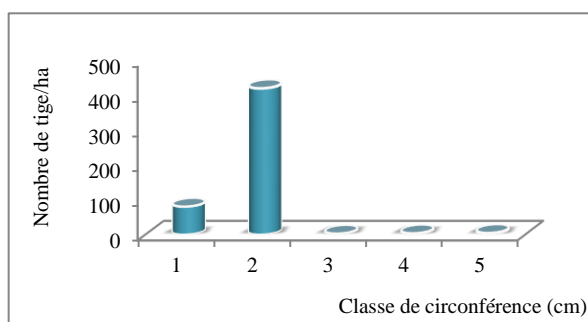
Nous présentons ci-dessous la représentation graphique de la structure de la tétracinaie par placette dans les deux zones d'études.



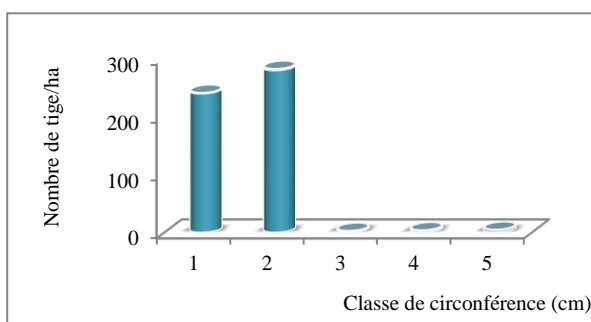
Placette 01



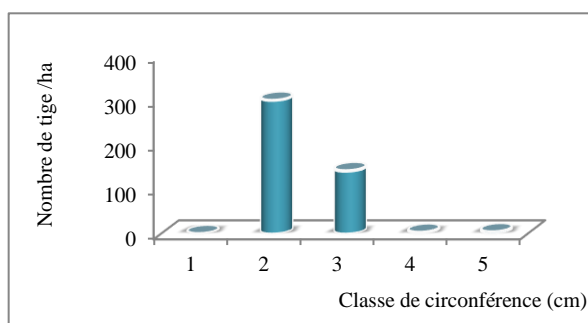
Placette 02



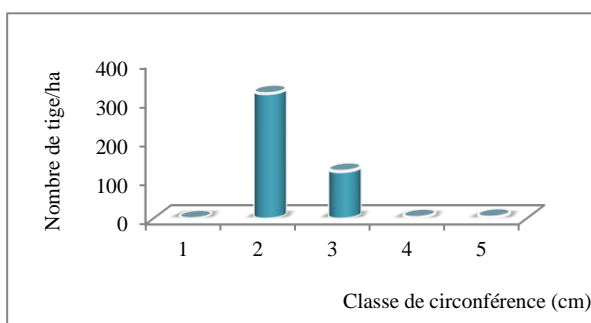
Placette 03



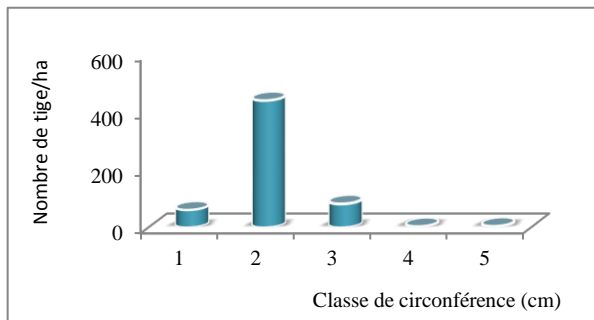
Placette 04



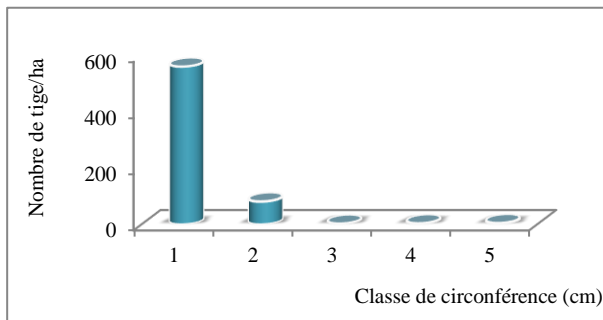
Placette 05



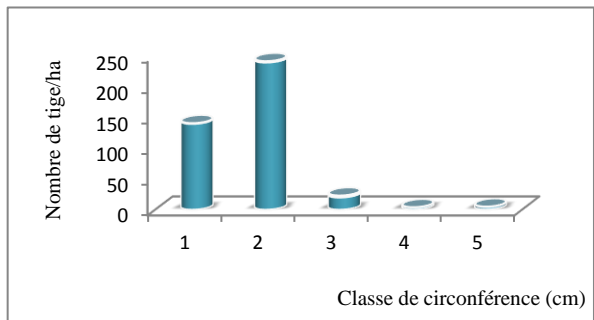
Placette 06



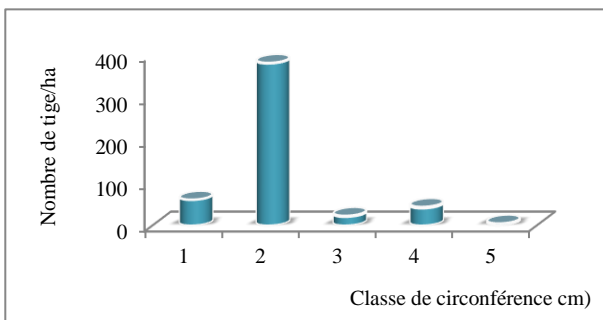
Placette 07



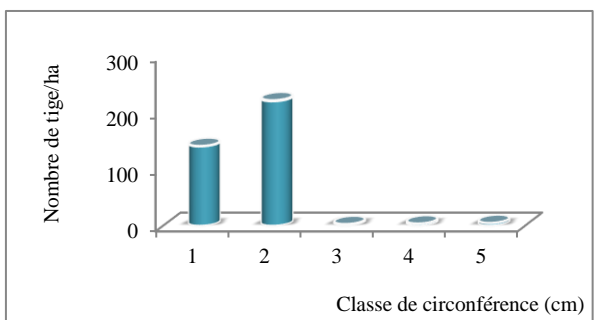
Placette 08



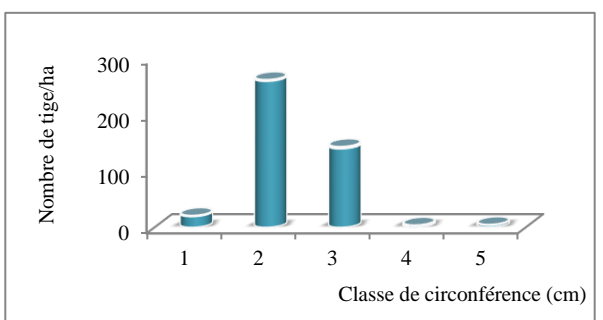
Placette 09



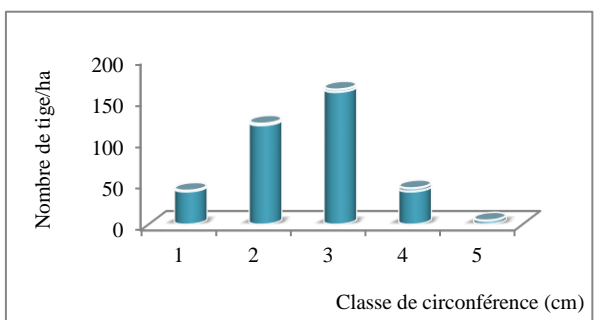
Placette 10



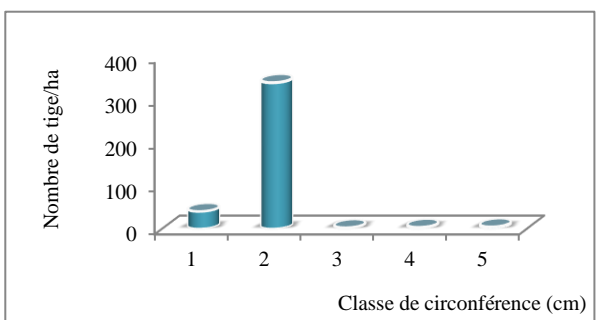
Placette 11



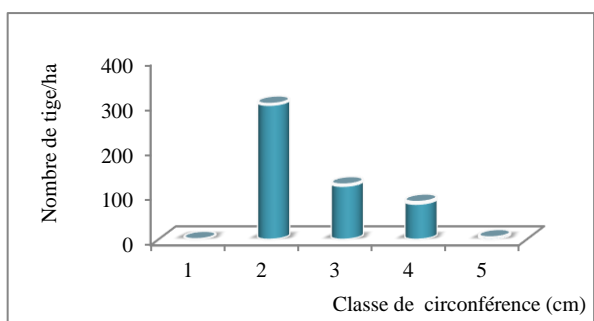
Placette 12



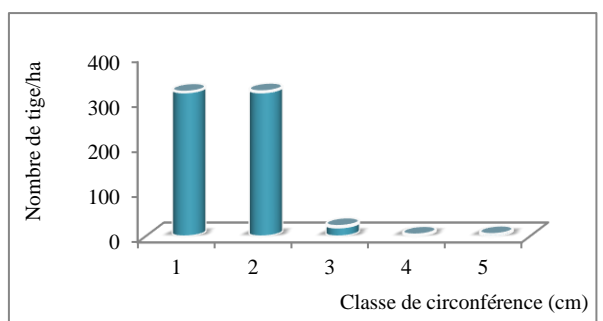
Placette 13



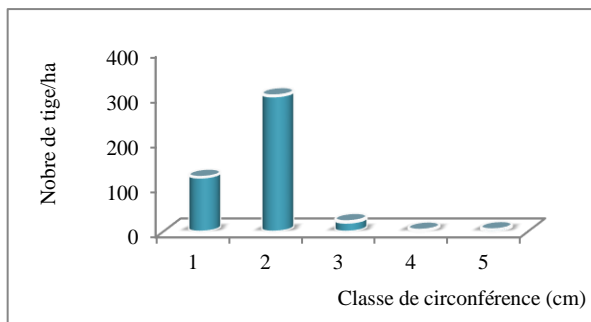
Placette 14



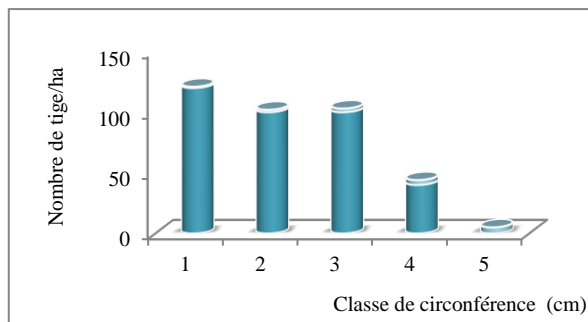
Placette 15



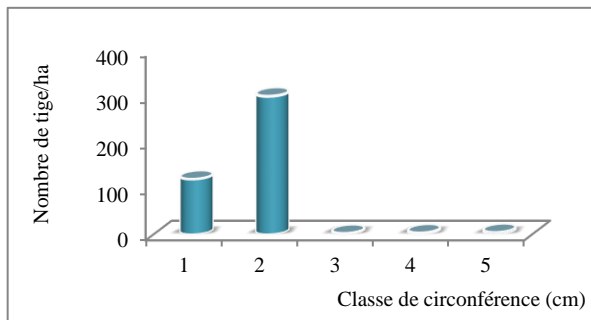
Placette 16



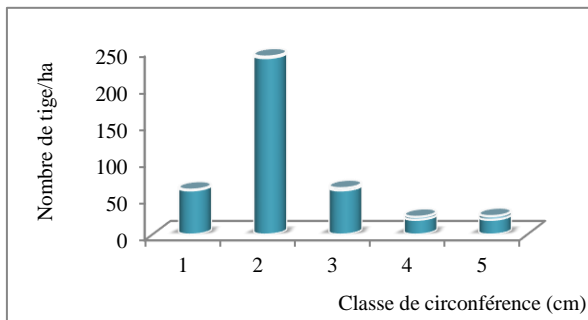
Placette 17



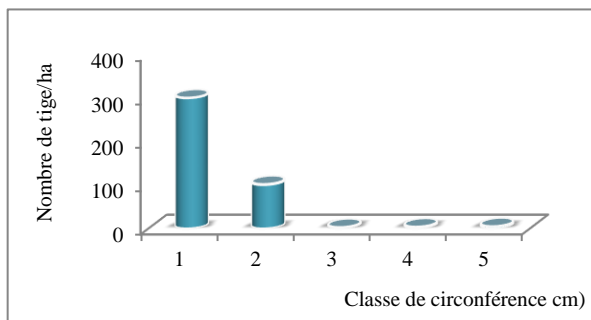
Placette 18



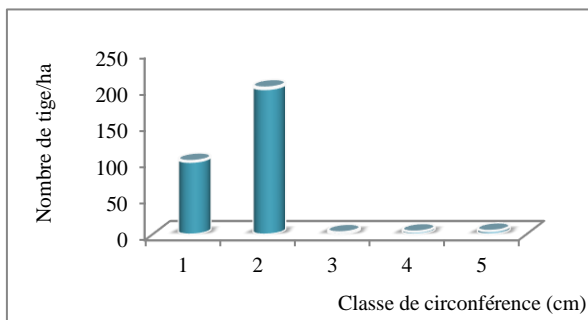
Placette 19



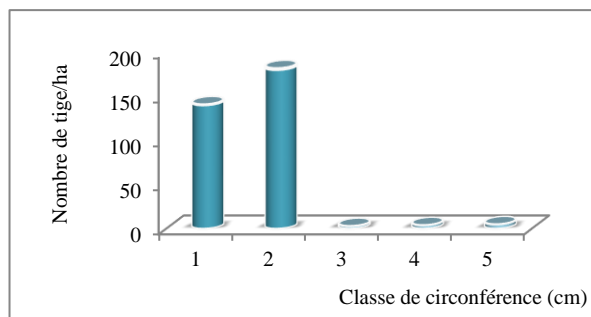
Placette 20



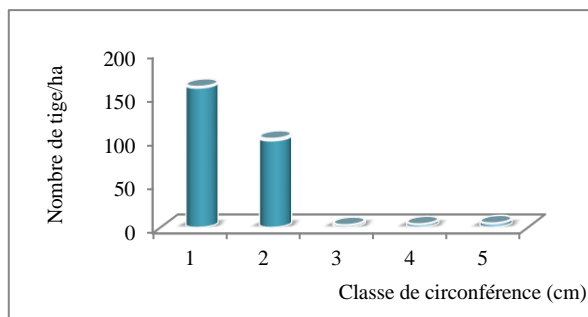
Placette 21



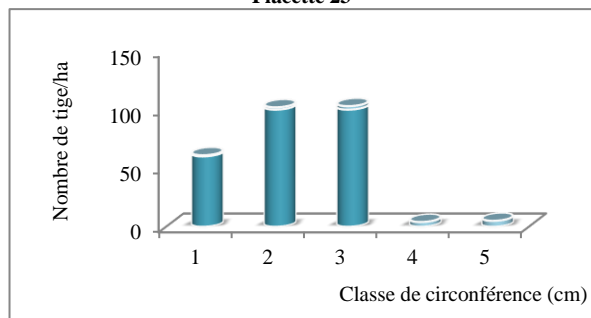
Placette 22



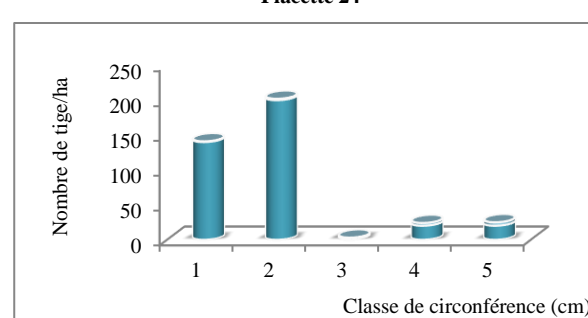
Placette 23



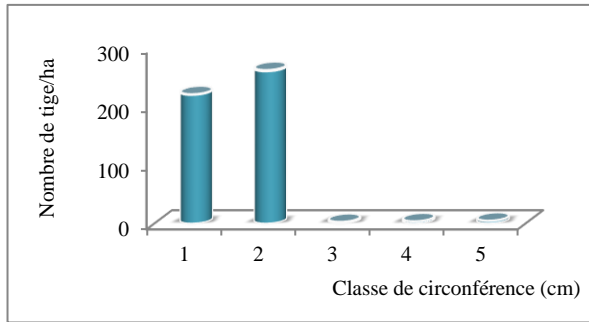
Placette 24



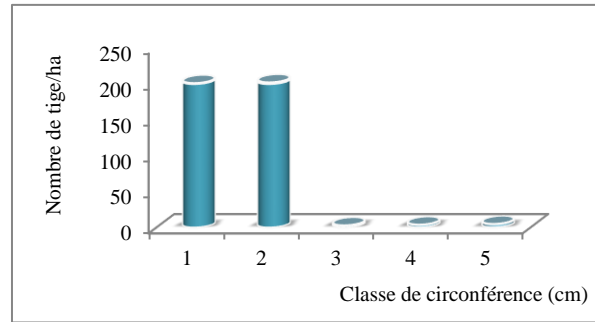
Placette 25



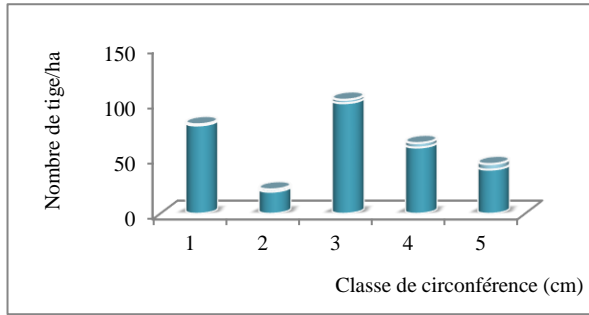
Placette 26



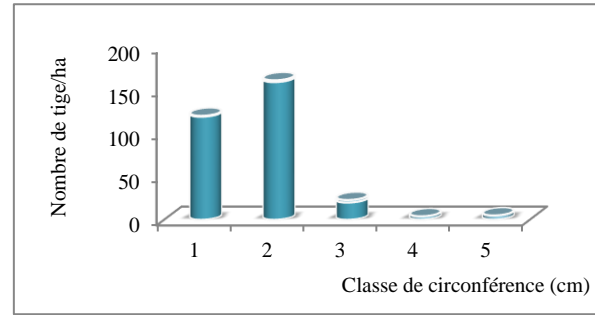
Placette 27



Placette 28

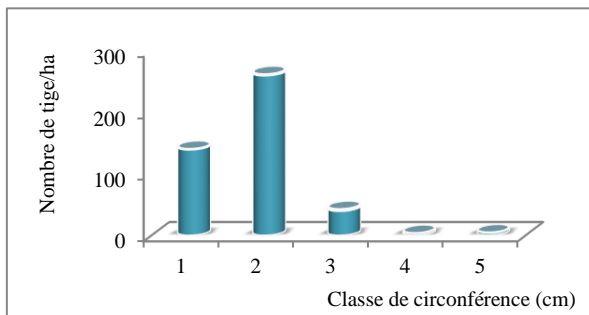


Placette 29

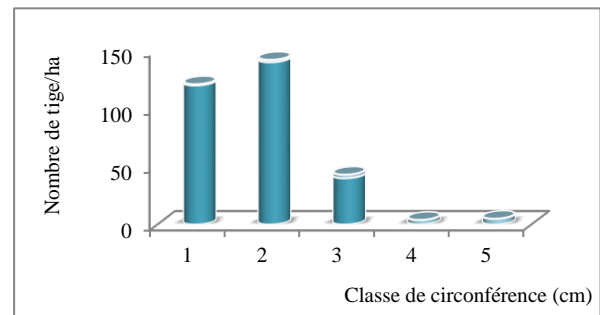


Placette 30

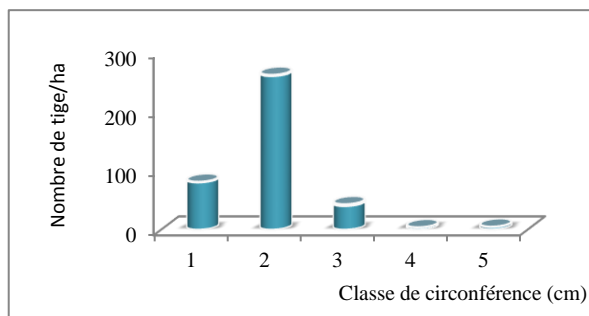
Figure 32 : Représentation des structures diamétriques du thuya (forêt de Honaine)



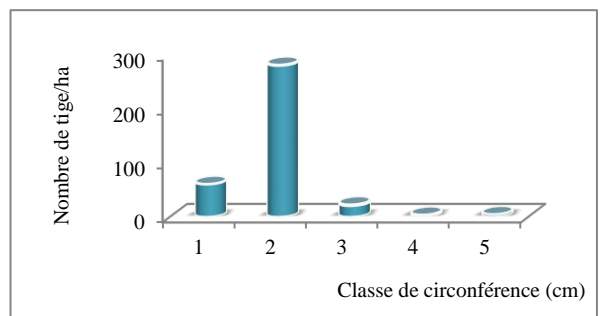
Placette 01



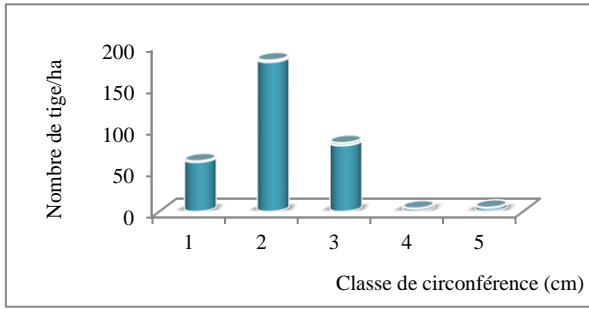
Placette 02



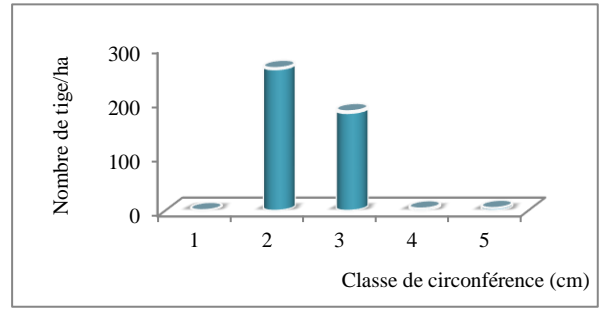
Placette 03



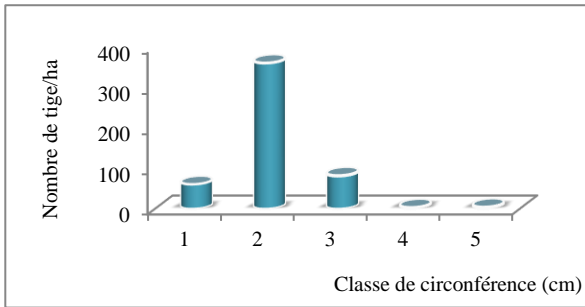
Placette 04



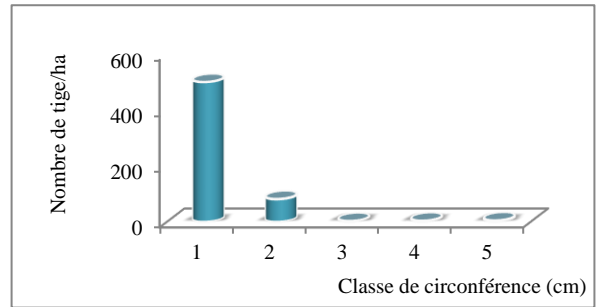
Placette 05



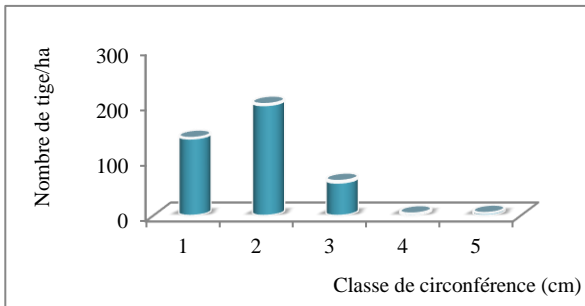
Placette 06



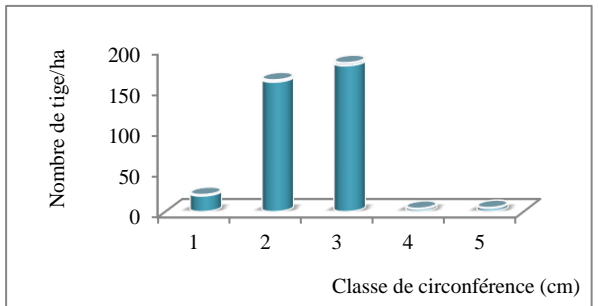
Placette 07



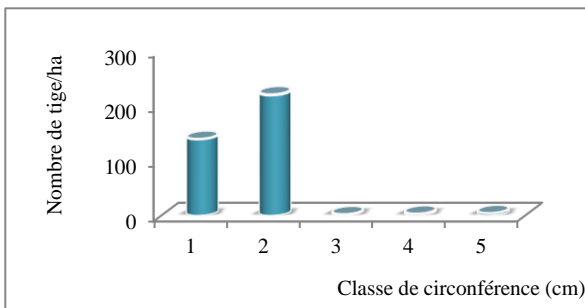
Placette 08



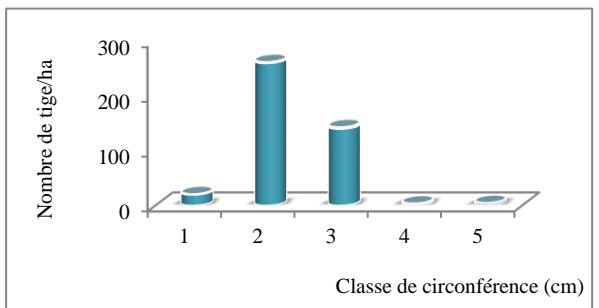
Placette 09



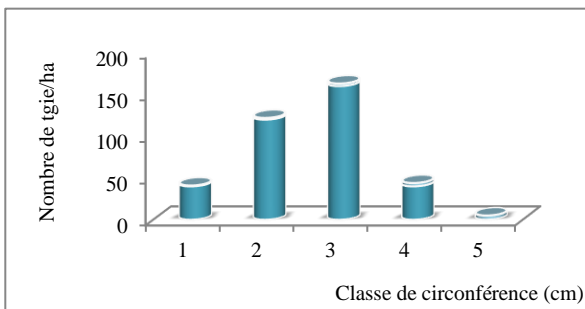
Placette 10



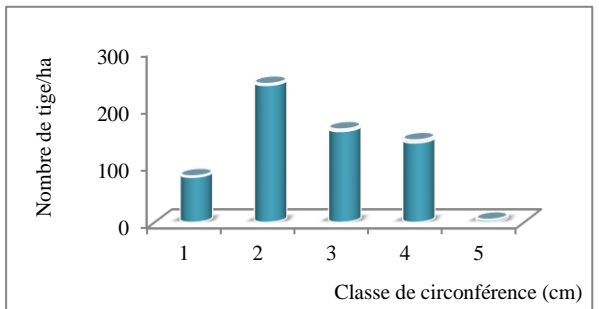
Placette 11



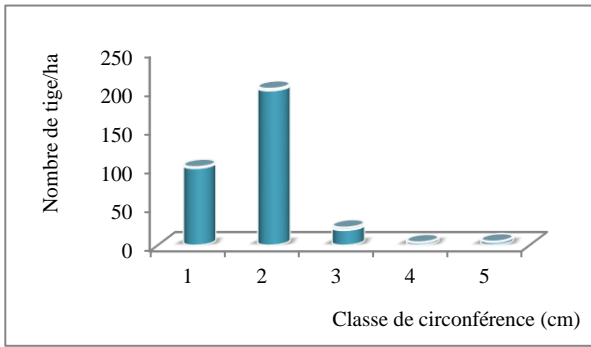
Placette 12



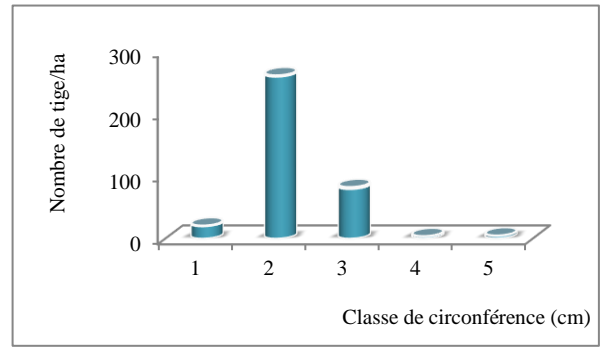
Placette 13



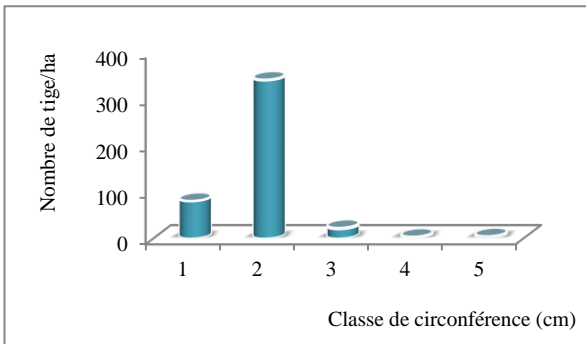
Placette 14



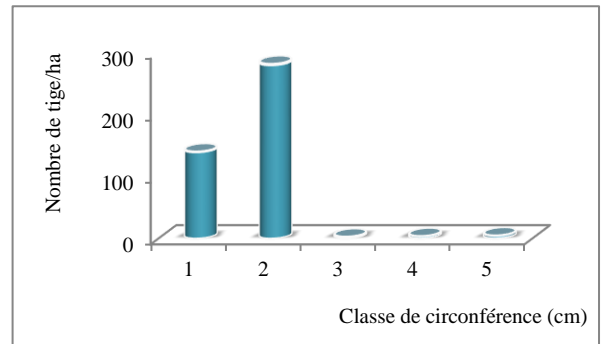
Placette 15



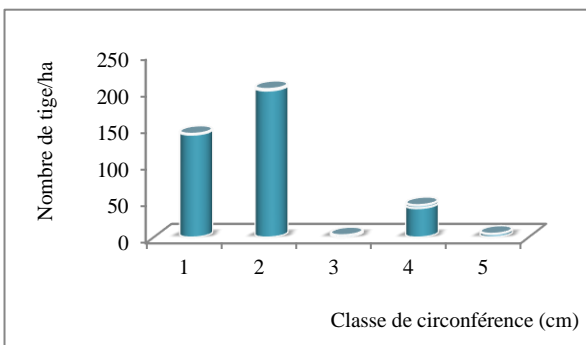
Placette 16



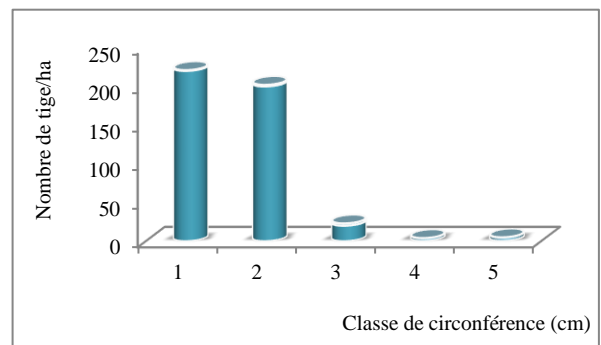
Placette 17



Placette 18



Placette 19



Placette 20

Figure 33 : Représentation des structures diamétriques du thuya (forêt d'Ain Ghoraba)

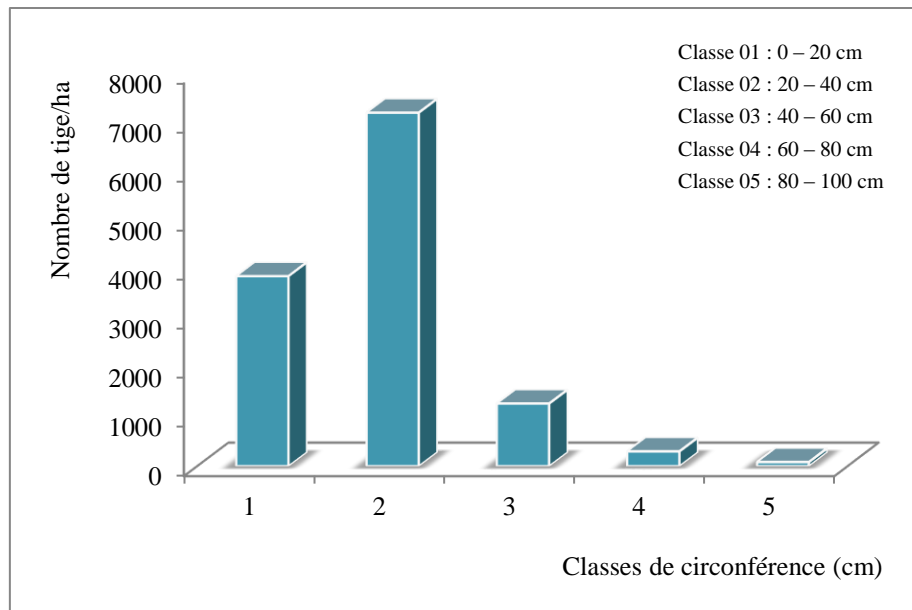


Figure 34 : Structure générale du peuplement dans la forêt de HONAINE

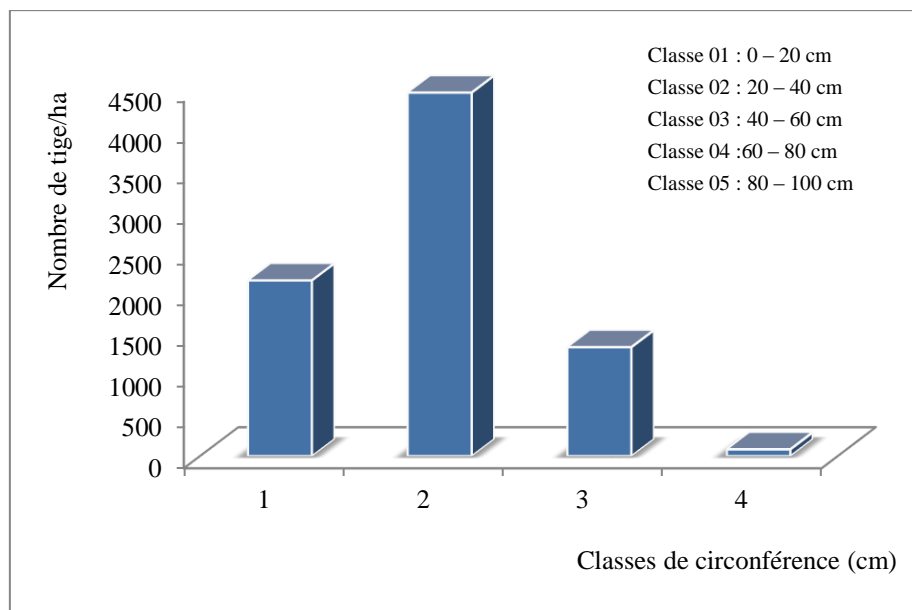


Figure 35 : Structure générale du peuplement dans la forêt d'AIN GHORABA

Dans tout aménagement durable la détermination de la structure et la manière par laquelle les arbres se répartissent en fonction de leurs circonférences à 1.30 m est essentielle dans la planification forestière.

La structure du peuplement dans les deux zones d'études est plus ou moins régulière. Le peuplement est constitué dans sa majorité par des arbres appartenant à la première et la deuxième classe de circonférence, la troisième, quatrième et cinquième classe sont très faiblement représentées.

De manière générale, nous sommes en présence de peuplements jeunes puisque le nombre d'arbres ayant des circonférences inférieures ou égales à 40 cm (Cl 1 et 2) représente 84 % du peuplement.

Cette structure est définie par un aspect homogène des dimensions des arbres. Cette homogénéité peut également se caractériser par une majorité d'arbres dans une ou deux catégories de circonférences. Les paramètres de densité restent très variables d'une classe à une autre. La densité moyenne dépasse rarement 2548 tiges /ha à Honaine et 2010 tiges /ha à Ain Ghoraba.

On remarque aussi l'absence des très gros bois (arbre de circonférence entre 80 et 100 cm) dans la région d'Ain Ghoraba, malheureusement l'absence de cette classe rend cette structure sujette à des perturbations. De ce fait cette forêt n'est pas équilibrée.

Il apparaît clairement selon les graphes obtenus (Figures 34 et 35) que les peuplements de thuya à Honaine et à Ain Ghoraba ont une structure élémentaire globale régulière. Cela se confirme par la présence d'une ou de deux classes de circonférences dominantes bien représentatives.

5.2 La structure verticale de la Tétracinaie :

La structure verticale traduit la distribution des individus par classes de hauteur.

5.2.1 Hauteurs moyennes et hauteurs dominantes :

Les hauteurs moyennes des arbres échantillons sont regroupées en classes pour faciliter leurs représentations graphiques. Les estimations et mesures ont donné les valeurs suivantes (Figure 36).

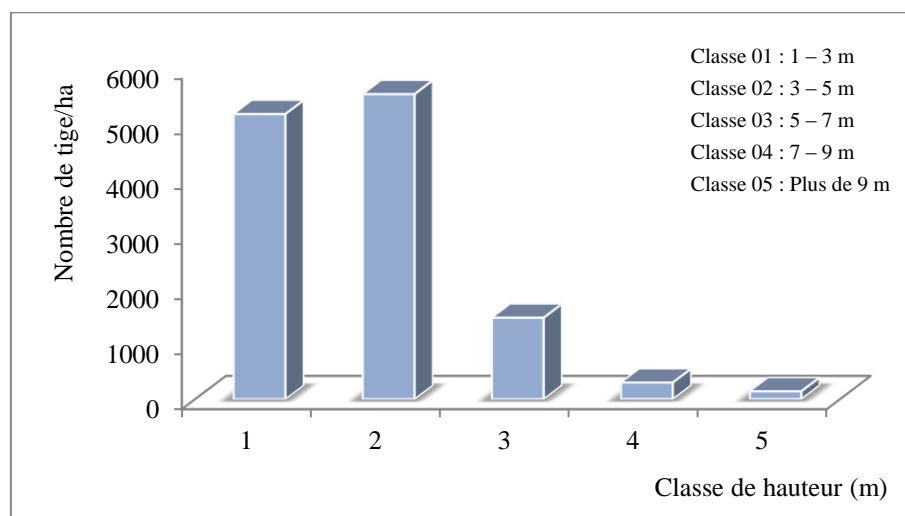


Figure 36 : Structure verticale du thuya dans la forêt de Honaine

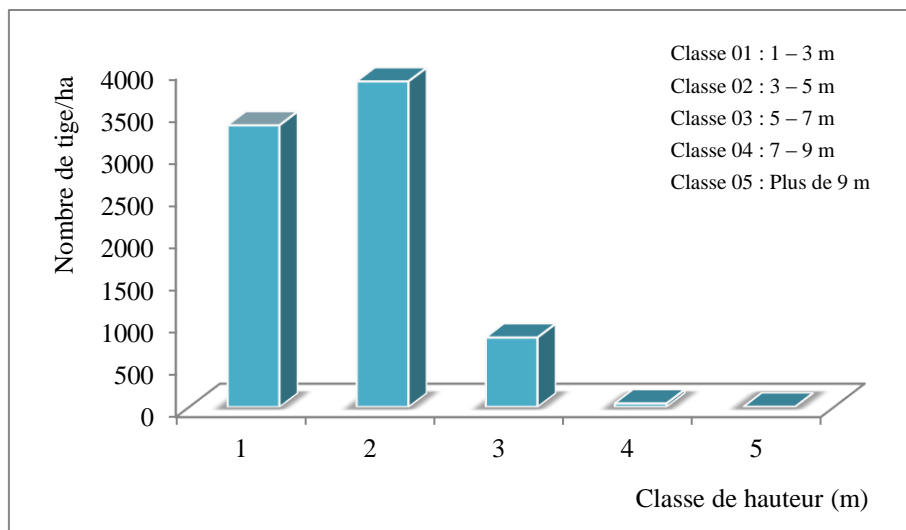


Figure 37 : Structure verticale du thuya dans la forêt d'Ain Ghoraba

La hauteur moyenne des peuplements varie de 2.20 à 6.80 m pour la forêt de Honaine et de 2.30 à 5.10 m pour la forêt d'Ain Ghoraba. La valeur moyenne pour l'ensemble de la tétraclinaie est 3.60 m. Derrière ces variations, se cache une réelle différence de structure verticale.

Les graphiques ci-dessus mettent en évidence :

- Une dominance des hauteurs de première et deuxième : 17920 tiges
- Un effectif moyen des hauteurs de la troisième classe : 2300 tiges
- Un effectif très faible des hauteurs de la quatrième classe : 340 tiges
- La cinquième classe est très faiblement uniquement dans la forêt de Honaine : 140 tiges

Quant à la hauteur dominante elle varie entre 2.90 à 9.10 m pour la forêt de Honaine et de 3.80 à 7.00 m pour la forêt d'Ain Ghoraba. La hauteur dominante moyenne est d'environ 4.90 m pour les deux forêts.

5.3 Description des placettes d'échantillonnage :

5.3.1 Forêt de Honaine :

Dans les placettes 1, 2, 3, 4, la tétraclinaie se présente sous une forme naturelle située entre 20 à 80 m d'altitude, sur une pente comprise entre 8 à 32 %. Les expositions présentes sont respectivement le nord-ouest, le nord-est, le sud-est, et sud.

Ce peuplement repose sur un sol peu profond qui ne dépasse pas 55 cm de profondeur, où se développe principalement des petits bois ($C_{1,30} \leq 40$ cm). La densité moyenne oscille entre 380 et 640 tiges/ha quant à la hauteur totale moyenne, elle varie entre 3,20 et 3,70 m. La concurrence est très importante, le taux de recouvrement atteint 95%, ici des travaux de dégagement et dépressage sont indispensables.

Dans les placettes 5 et 6, le thuya se situe entre 65 à 90 m d'altitude, la pente atteint 35 % . Le peuplement se compose de moyens et de petit bois ($40 \leq C_{1,30} \leq 60$ cm), ils sont exposés à l'est. La densité moyenne est de 440 tige/ha, le sous-bois est important avec un taux de recouvrement variant entre 60 et 95 %, la hauteur moyenne totale varie entre 4,90 et 5,90 m et la profondeur du sol oscille entre 65 et 70 cm.

Par ailleurs, les placettes 8, 11,14, 19, 21, 22, 23, 24, 27, 28, se situent entre 10 et 270 m d'altitude, avec une pente comprise entre 10 et 32 %. Les expositions dominantes sont l'ouest, le sud et le nord-ouest. Ce peuplement se compose principalement de petits bois avec des circonférences ne dépassant pas 40 cm. La profondeur du sol varie entre 25 et 50 cm. Le taux de recouvrement varie entre 45 et 75 %.

Nous distinguons aussi la tétraclinaie formée par les placettes 7, 9, 12, 16, 17, 25, 30 constituées des arbres ayant des circonférences comprises entre 20 et 80 cm. Ces placettes sont exposées est, sud, nord, et sud-est. Les altitudes varient entre 80 et 300 m, le peuplement repose sur un relief accidenté avec une pente oscillant entre 14 à 30 %. La tétraclinaie se présente sous un aspect clair dans les placettes 9, 17, 25 et 30 avec une densité de 260 à 400 tiges/ha, et sous un aspect dense (660 tiges/ha) dans les autres placettes.

Nous signalons, aussi, la présence de rares arbres appartenant à des classes de circonférence comprise entre 80 à 100 cm dans les placettes 13, 15, 18, 20, 26, 29. Ces placettes ont pour point commun d'être situées à exposition est. Ici, les altitudes sont comprises entre 70 et 270m avec des pentes qui varient entre 7 à 28 %. Ici le taux de recouvrement est important, il varie entre 55 et 80 %. La profondeur du sol ne dépasse pas 85 cm.

Les surfaces terrières sont également très différentes, avec des valeurs extrêmement fortes pour les placettes 1, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 15, 18, 20, 29 respectivement 4.10 m²/ha, 4.80 m²/ha, 5.10 m²/ha, 4.50 m²/ha, 5, 4 m²/ha, 4.50 m²/ha, 8 m²/ha, 4.50 m²/ha, 4.50 m²/ha, 7.10 m²/ha, Celles observées sur les autres placettes sont plus faibles. La valeur moyenne pour l'ensemble de la tétraclinaie s'élève à 3.22 m²/ha.



Photo n° 03 : Placettes 02 (Oued Regou)



Photo n° 04 : Placettes 09 (Ras Elkoudia)

5.3.2 Forêt d'Ain Ghoraba :

La tétraclinaie d'Ain Ghoraba est constituée dans son ensemble par des petits et moyens bois, les arbres qui composent cette forêt ont des circonférences qui dépassent rarement 60 cm.

Les placettes 11, 8, 18, se situent entre 1165 et 1195 m d'altitude, sur un terrain dont la pente ne dépasse pas 27 %. Les sujets de petits bois composant ces placettes reposent sur un sol peu profond (25 cm de profondeur), le taux de recouvrement de la strate arbustive est compris entre 55 et 65 %. La densité est importante, elle arrive jusqu'à 580 tige/ha dans la placette 8. La hauteur totale moyenne se situe entre 2.3 et 3.2 m.

Pour les placettes 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 15, 16, 17, 20, on constate que les arbres appartenant à des classes de circonférence allant jusqu'à 60 cm sont dominants. Ici le peuplement arrive à se maintenir jusqu'à une altitude de plus de 1000 m sur des terrains à pentes fluctuantes entre de 12 et 33 % et sur des sols peu profonds (0.70 cm). Ces placettes sont exposées nord-est, nord, sud-est, sud et est. Le taux de recouvrement de la strate arbustive est important, il atteint 75 %, la hauteur totale moyenne des arbres varie entre 2.6 et 4.30 m.

La callitraie qui s'étend sur les placettes 13, 14 et 18, orientées à l'est et à des altitudes comprises entre 1075 à 1120 m, est caractérisée par la présence de gros arbres de circonférence avoisinant 80 cm et croissants sur des sols qui arrivent à 80 cm de profondeur. La hauteur moyenne totale est plus importante que les autres placettes (3.4 à 5.40 m).

Les surfaces terrières sont également très différentes, avec des valeurs extrêmement fortes pour les placettes 6, 7, 10, 12, 13, 14 avec 5.50 m²/ha, 4.30 m²/ha, 4.90 m²/ha, 4 m²/ha, 5 .50 m²/ha, 4.60. Celles observées sur les autres placettes sont plus faibles. La valeur moyenne pour l'ensemble de la tétraclinaie s'élève à 3.20 m²/ha.



Photo n° 05 : Placettes 04 (Dar El Arar)



Photo n° 06 : Placettes 11 (Dar El Arar)

5.4 Appréciation de la productivité du peuplement étudié :

Les résultats obtenus suite au calcul des variables dendrométriques mesurées en relation avec la productivité du peuplement dans les deux zones d'étude figurent dans les tableaux n° 35. et 36.

Tableau 35 : Paramètres de productivité de la tétraclinaie de HONAINÉ

N° placette	S (ha)	N/ha	DG (cm)	G (m ² /ha)	H _{dom} (m)	Hm (m)	V (m ³ /ha)
1	0,05	380	8,62	2,00	4,70	3,20	4,60
2	0,05	640	9,04	4,10	4,50	3,70	9,00
3	0,05	500	8,93	3,20	5,20	3,70	7,40
4	0,05	520	7,26	2,20	4,00	3,30	4,20
5	0,05	440	11,65	4,80	7,10	4,90	15,18
6	0,05	440	12,15	5,10	6,70	5,90	17,60
7	0,05	580	9,89	4,50	6,20	4,20	12,00
8	0,05	640	5,44	1,90	3,10	2,20	2,00
9	0,05	400	7,94	2,00	4,40	3,00	4,30
10	0,05	500	11,39	5,00	7,70	4,80	18,10

11	0,05	360	9,48	2,50	5,00	3,20	4,70
12	0,05	420	11,02	4,00	5,50	3,90	10,70
13	0,05	360	13,95	5,50	7,30	5,20	20,20
14	0,05	380	9,30	2,60	5,00	3,70	6,20
15	0,05	500	14,33	8,00	9,10	6,80	32,70
16	0,05	660	8,03	3,40	4,80	2,60	5,20
17	0,05	440	7,07	1,70	4,10	3,00	4,90
18	0,05	360	12,62	4,50	7,50	4,40	16,40
19	0,05	420	8,05	2,10	3,50	2,60	3,40
20	0,05	400	11,95	4,50	6,80	4,00	16,30
21	0,05	400	5,46	1,00	3,20	2,30	1,60
22	0,05	300	8,07	1,50	3,50	2,90	2,00
23	0,05	320	8,02	1,60	3,50	2,80	2,90
24	0,05	260	7,51	1,20	3,50	2,40	1,30
25	0,05	260	9,91	2,00	4,90	3,80	7,00
26	0,05	380	10,86	3,50	5,40	3,40	11,40
27	0,05	480	7,31	2,00	3,80	2,60	3,70
28	0,05	400	6,97	1,50	2,90	2,20	2,30
29	0,05	300	17,30	7,10	8,80	6,40	33,30
30	0,05	300	8,12	1,60	3,50	2,60	2,90

Tableau 36 : Paramètres de productivité de la tétraclinaie d'AIN GHORABA

N° placette	S (ha)	N /ha	DG (cm)	G (m ² /ha)	H _{dom} (m)	Hm (m)	V (m ³ /ha)
1	0,05	440	8,98	2,80	4,00	3,50	6,00
2	0,05	300	9,49	2,10	4,40	3,40	4,90
3	0,05	380	8,93	2,40	4,10	3,20	5,50
4	0,05	360	9,03	2,30	4,30	3,20	4,80
5	0,05	320	11,12	3,80	5,00	3,80	8,00
6	0,05	440	12,56	5,50	4,90	4,00	13,80
7	0,05	500	9,98	4,30	6,10	4,30	10,80
8	0,05	580	5,46	1,40	3,20	2,30	2,00
9	0,05	400	8,88	2,50	5,20	3,20	6,30

10	0,05	360	13,18	4,90	6,00	4,60	14,60
11	0,05	360	8,51	2,10	3,90	3,20	4,00
12	0,05	420	11,02	4,00	5,50	3,90	10,25
13	0,05	360	13,98	5,50	7,00	5,10	19,80
14	0,05	460	11,32	4,60	4,80	3,70	11,20
15	0,05	320	9,74	2,40	4,00	3,10	4,90
16	0,05	360	10,26	3,00	4,20	3,30	6,40
17	0,05	440	9,29	3,00	4,10	3,00	6,21
18	0,05	420	8,17	2,20	3,50	2,60	3,70
19	0,05	380	10,17	3,10	5,50	3,40	9,50
20	0,05	440	7,66	2,00	3,80	2,60	3,60

Les résultats obtenus montrent que le peuplement de thuya dans la région de Honaine produit entre 1.30 à 33.30 m³/ha, en moyenne 9.44 m³/ha, alors que dans la région d'Ain Ghoraba, le volume varie entre 2.00 et 19.80 m³/ha avec une moyenne de 7.81 m³/ha.

En comparant les résultats obtenus avec celles des observations de **BENABDELLAH (2002)**, dans un peuplement naturel de thuya et **HADJADJ-AOUL (1995)**, dans l'arboretum de Tinera (tétracinaie artificielle), on trouve que les observations de **BENABDELLAH (2002)**, donnent lieu à un volume de 10.39 m³/ha, quant-aux observations de **HADJADJ-AOUL (1995)**, celles-ci donnent lieu à un volume de 35.68 m³/ha.

La faible production de nos peuplements peut être justifier par leur état de dégradation très avancé (coupes illicites, surpâturage et incendies qui sont très marqués dans la zone d'étude). En effet, la tétracinaie naturelle est un taillis beaucoup plus dense et le nombre de tiges à l'hectare approche du double de celui de la parcelle expérimentale étudiée par **HADJADJ-AOUL (1995)**. Cette forte densité semble être l'une des conséquences des multiples attaques que subissent ces formations qui ne bénéficient d'aucun traitement sylvicole.

D'ailleurs, aux différentes mutilations, l'arbre réagit en émettant des rejets de souches, cela induit une augmentation de la densité et le rendement, la longueur des tiges et volumes, se trouvent aussi amoindris.

A la différence, en arboretum, les arbres sont plus hauts et la hauteur moyenne comme la hauteur dominante sont plus importantes. De même selon **HADJADJ-AOUL (1995)**, les

arbres sont plus gros puisque les circonférences représentent le double des circonférences que l'on retrouve en peuplement naturel (écart de 46%).

5.4.1 Relation entre la productivité en volume et les variables dendrométriques :

5.4.1.1 Relation volume/Hauteur moyenne :

Les mesures effectuées ont donné lieu aux graphes suivants :

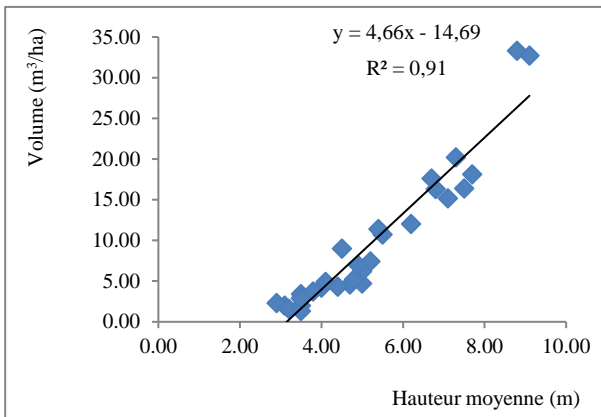


Figure 38 : Relation volume/ hauteur moyenne du thuya dans la forêt de Honaine

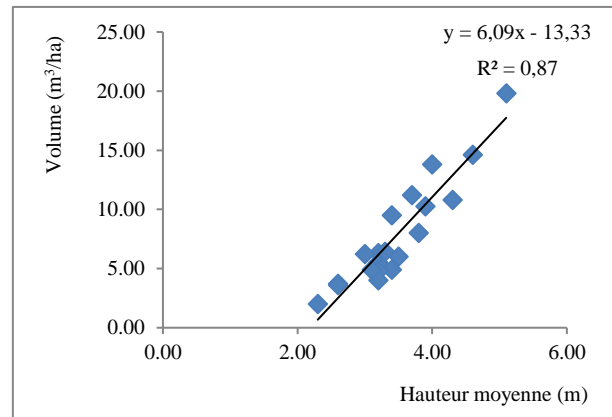


Figure 39 : Relation volume/ hauteur moyenne du thuya dans la forêt d'Ain Ghoraba

Les figures 38 et 39, illustrent parfaitement l'existence d'une relation significative entre le volume et la hauteur moyenne. Le volume des arbres est équitablement réparti de part et d'autre de la droite de régression ; le plus gros nuage de points est celui qui correspond à des hauteurs comprises entre 3 et 7 m dans la tétraclinaie de Honaine et entre 2.5 et 5 m dans la tétraclinaie d'Ain Ghoraba. Ces résultats sont confirmés par la valeur élevée du coefficient de régression qui s'étale de 0.87 à 0.91 pour les deux peuplements.

5.4.1.2 Relation volume/circonférence moyenne :

Nous obtenons une relation linéaire entre le volume des arbres et les circonférences moyennes à 1.30 m, avec un coefficient de corrélation élevé à un seuil de confiance égale à 95 %. Ainsi les volumes des arbres sont corrélés à 0.85 avec les circonférences à 1.30 m dans la callitraie de Honaine et à 0.81 dans celle d'Ain Ghoraba.

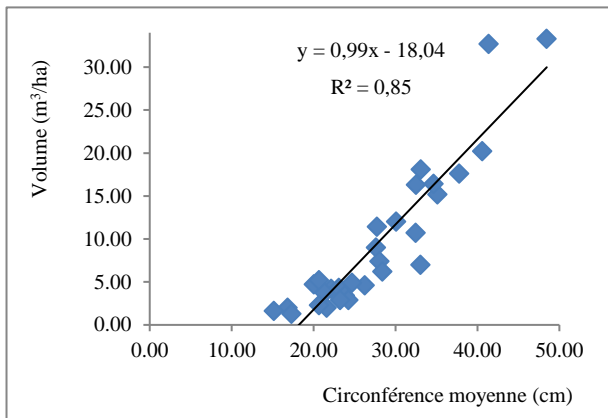


Figure 40 : Relation volume/ circonférence moyenne du thuya (forêt de Honaine)

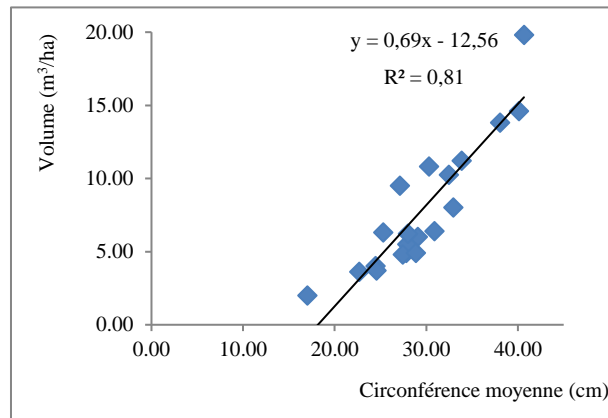


Figure 41 : Relation volume/ circonférence moyenne du thuya (forêt d'Ain Ghoraba)

5.4.1.3 Relation volume/nombre de tige/ha :

L'examen de la relation entre le volume des arbres et la densité par hectare (nombre de tige/ha) nous montre qu'il existe une corrélation négative entre ces deux paramètres car le coefficient de corrélation est très faible.

Les placettes 2, 3, 4, 8, 16, 17 et 18 dans la forêt de Honaine et 1, 8, 18 et 20 dans celle d'Ain Ghoraba ont été ravagées par les incendies. La forte densité dans ces placettes semble être l'une des conséquences des feux, en effet, le thuya réagit en émettant de nombreux rejets de souche (le nombre de tiges par hectare est élevé) mais avec des diamètres et des volumes faibles.

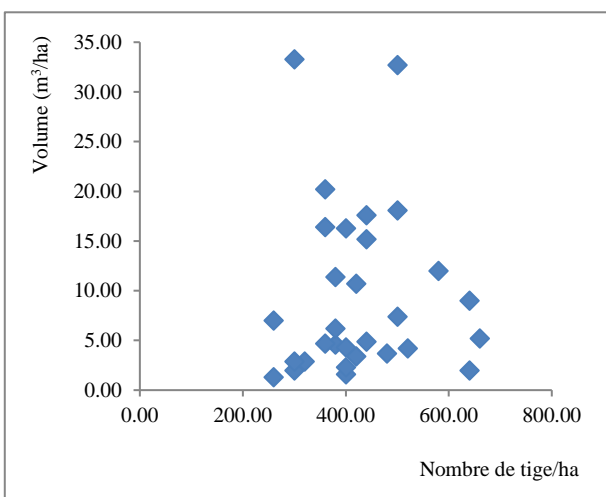


Figure 42 : Relation volume/ nombre de tige/ha dans la forêt de Honaine

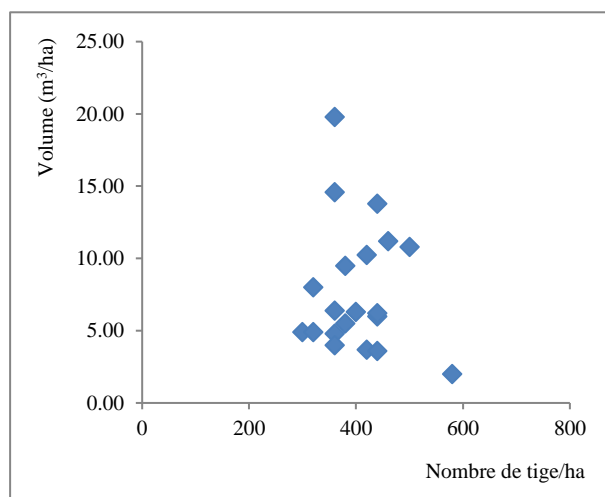


Figure 43 : Relation volume/ nombre de tige/ha dans la forêt d'Ain Ghoraba

5.4.2 Relation entre la productivité en volume et les facteurs du milieu :

Rappelons que la productivité d'une placette, ou sa fertilité, sont influencées par les caractéristiques intrinsèques de la placette (station), les paramètres stationnels choisis sont :

- L'exposition
- La profondeur du sol
- La pente
- L'altitude

5.4.2.1 Relation entre la productivité et l'exposition :

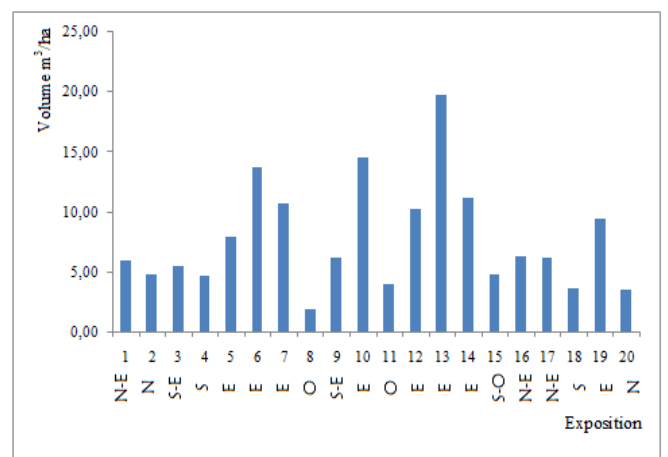
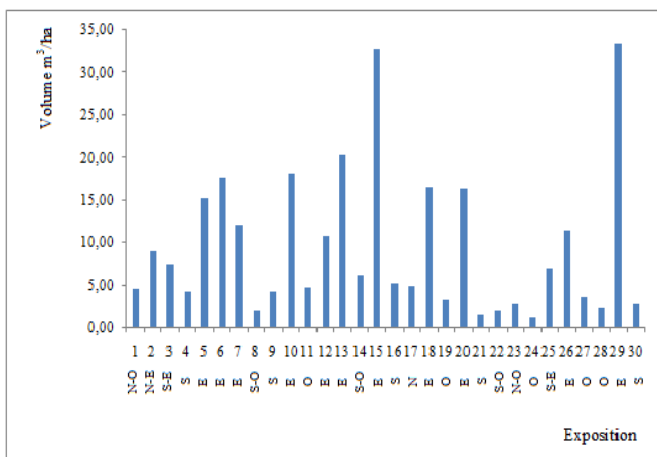


Figure 44 : relation volume / exposition dans la forêt de Honaine

Figure 45 : relation volume / exposition dans la forêt d'Ain Ghoraba

L'influence de l'exposition sur la productivité est très remarquable, on constate que dans les expositions est, nord-est et sud-est, la productivité en volume est importante par rapport aux autres expositions. C'est le cas des placettes 2, 3, 5, 6, 7, 10, 12, 13, 15, 18, 20, 25, 26, 29 dans la tétracliniaie de Honaine et les placettes 1, 3, 5, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 19, dans celle d'Ain Ghoraba, cela peut être expliqué par le fait que l'espèce préfère les expositions chaudes.

Ainsi, l'exposition joue un rôle capital.

5.4.2.2 Relation entre la productivité en volume et la profondeur du sol :

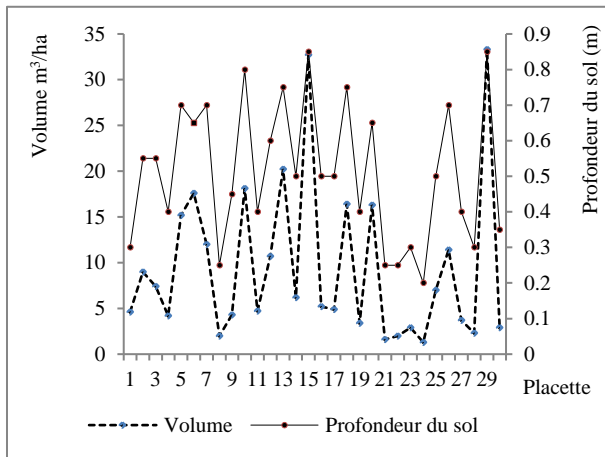


Figure 46 : relation volume / profondeur du sol dans la forêt de Honaine

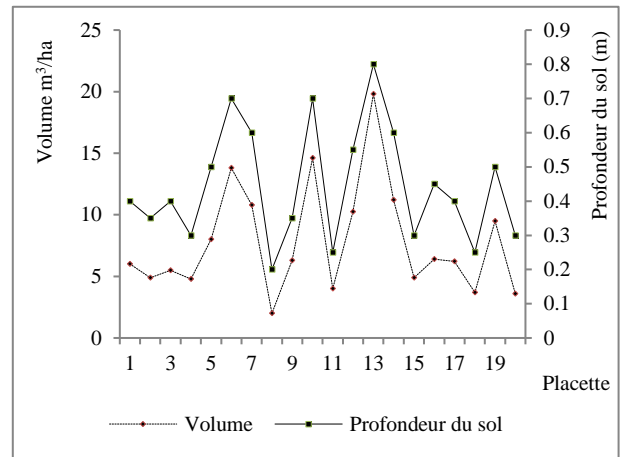


Figure 47 : relation volume / profondeur du sol dans la forêt d'Ain Ghoraba

On constate dans les deux zones d'étude un effet très net de la profondeur du sol, dans les sols profonds l'espèce produit plus de volume de bois, c'est le cas des placettes 5,6,7,10,12,13,15,18,20,26,29 dans la région de HONAINNE et des placettes 6,7,10,12,13,14,19 dans la région d'AIN GHORABA.

Il apparaît ainsi que le thuya, malgré sa plasticité vis-à-vis de la nature chimique du substratum édaphique et son épaisseur, il semble dans la région de Tlemcen, produire plus en volume sur des sols profonds que sur des sols superficiels.

5.4.2.3 Relation entre la productivité en volume et l'altitude :

Dans la région de HONAINNE, on constate qu'il n'existe aucune liaison significative entre la production et l'altitude. L'absence d'influence de l'altitude provient probablement du fait que les peuplements étudiés ne sont jamais situés à plus de 400 m, donc les basses altitudes ne provoquent pas une diminution de croissance du thuya.

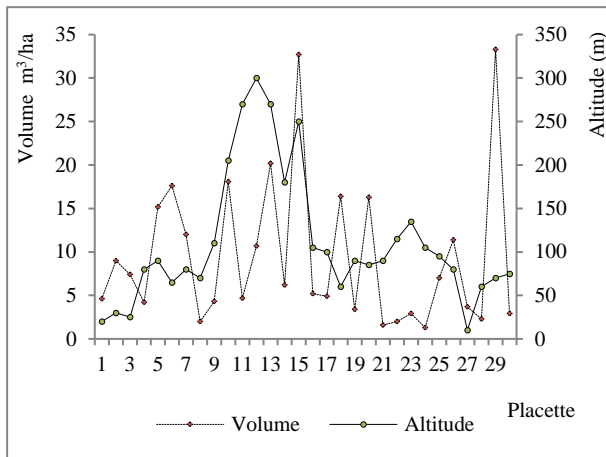


Figure 48 : relation volume / altitude dans la forêt de Honaine

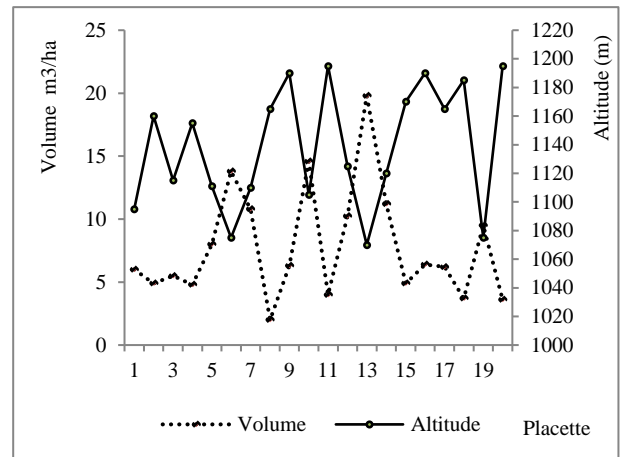


Figure 49 : relation volume / altitude dans la forêt d'Ain Ghoraba

Par conte, à AIN GHORABA, l'effet de l'altitude sur la productivité est significatif, le peuplement étudié se localise à plus de 1000 m d'altitude, il y souffre d'ailleurs du froid et fructifie rarement.

La comparaison des volumes obtenus à basse altitude dans la région de HONAINNE et à haute altitude dans la région d'AIN GHORABA met en évidence l'influence de l'altitude sur la productivité de l'espèce. En effet, en Algérie, le thuya ne se trouve jamais aux hautes altitudes. En moyenne montagne sèche son altitude maximale est de 1400 m, c'est plutôt un arbre des plateaux, de basses et de moyennes montagnes.

5.4.2.4 Relation entre la productivité en volume et la pente :

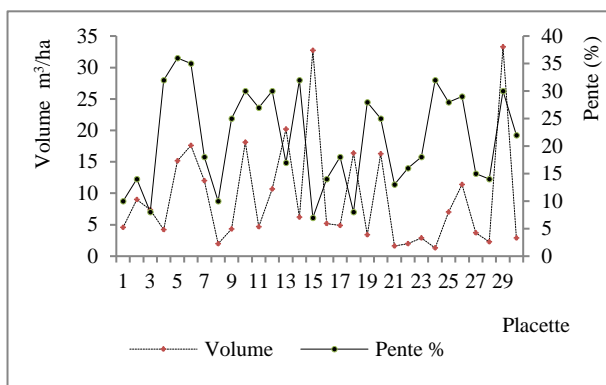


Figure 50 : relation volume / pente dans la forêt de Honaine

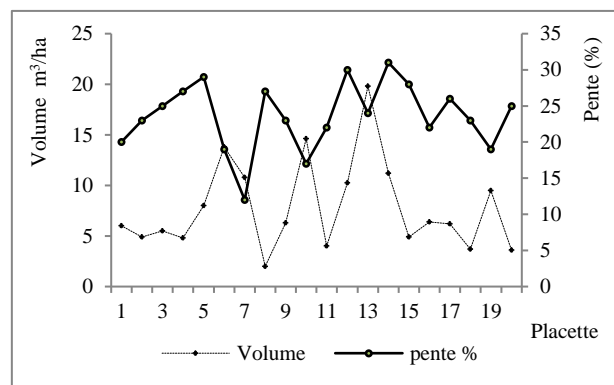


Figure 51 : relation volume / pente dans la forêt d'Ain Ghoraba

D'après les illustrations graphiques des deux zones d'étude ; on remarque que la pente n'a aucun effet sur la productivité du thuya, c'est-à dire que la pente ne constitue pas un facteur limitant la productivité du thuya.

En effet, son enracinement, le plus souvent traçant et constituant un réseau de racines assez serrées lui permet son ancrage dans les sols les plus déclives et les plus rocheux (BOUDY,1950).

5.4.3 Analyse en composantes principales (ACP) :

Les analyses utilisées dans le chapitre précédent correspondent aux statistiques unies variables et bi-variables. L'ordination des observations a été obtenue à partir de données purement dendrométriques, sans référence explicite aux facteurs environnementaux.

Le lien entre les gradients environnementaux et les facteurs du milieu est étudié dans cette partie en cherchant à relier les données dendrométriques de chaque arbre sur les axes factoriels aux différents facteurs de l'environnement.

Les techniques mises en œuvre sont multiples. Parmi ces méthodes figure l'ACP considérée comme une méthode très efficace pour l'analyse de données quantitatives (continues ou discrètes). Cette analyse se rapproche ainsi de l'AFC mais s'applique à des données quantitatives. Elle permet de visualiser et analyser rapidement les corrélations entre les variables, observations initialement décrites par variables sur un graphique à deux ou trois dimensions, construit de manière à ce que la dispersion entre les données soit aussi bien préservée que possible.

Tableau 37 : valeurs propres des cinq premiers axes de l'ACP

	F1	F2
Valeur propre	52,60	21,06
% cumulé	52,60	73,66

5.4.3.1 Matrice de corrélation :

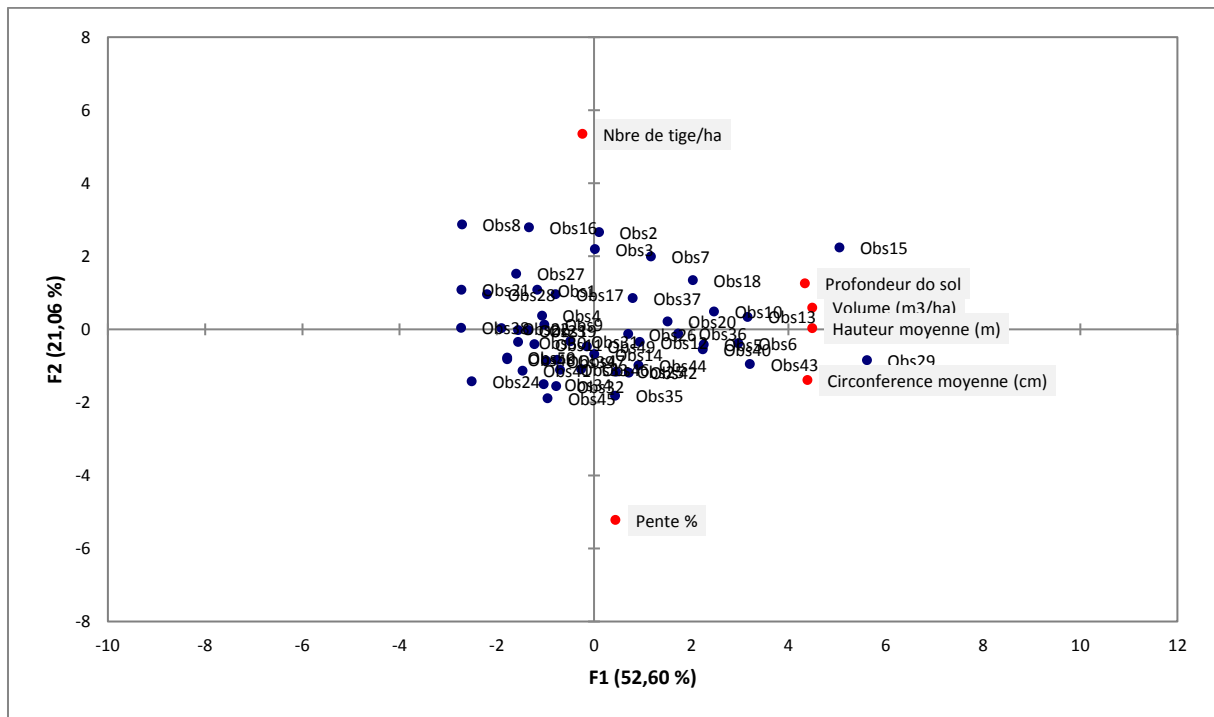


Figure 52 : Cercle de corrélation de l'ACP de la matrice observations/variables (volume / données dendrométriques et stationnelles).

Tableau 38 : Matrice de corrélation (Pearson (n))

Variabes	Volume (m ³ /ha)	Profondeur do sol	Altitude (m)	Pente %	Hauteur moyenne (m)	Nbre de tige/ha	Circonférence moyenne (cm)
Volume (m³/ha)	1						
Profondeur do sol	<u>0,8918</u>	1					
Altitude (m)	-0,0972	-0,1742	1				
Pente %	0,0176	0,0267	0,1725	1			
Hauteur moyenne (m)	<u>0,9469</u>	<u>0,8629</u>	-0,0716	0,0855	1		
Nbre de tige/ha	0,0049	0,1102	-0,1344	-0,2955	<u>-0,0442</u>	1	
Circonférence moyenne (cm)	<u>0,8832</u>	<u>0,8465</u>	0,1252	0,1358	<u>0,9065</u>	<u>-0,1913</u>	1

Les valeurs en gras sont différentes de 0 à un niveau de signification $\alpha=0,05$

Les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales (ACP) effectuée sur la totalité des variables représentent respectivement 52, 60 % et 21,06 % de la variation des données. La figure 52 et le Tableau 38 montrent une forte corrélation entre les différentes données dendrométriques et stationnelles à savoir la hauteur moyenne, la circonférence et

bien sûr le volume avec la profondeur du sol. Cette dernière est le facteur le plus important pour une bonne croissance et un bon accroissement du thuya.

Le nombre de tige est négativement corrélé à la pente et le volume. Ce dernier est aussi négativement corrélé à l'altitude.

Ces remarques mettent ainsi en évidence les faits suivants :

- Les volumes sont plus importants (20.20 m³/ha, 32.70 m³/ha, 33.30 m³/ha) dans les stations les plus basses (Honaine). Ce qui confirme le caractère thermophile et xérophile du thuya. Dans les stations d'altitude (Ain Ghorba) le volume est moins important (13.80 m³/ha, 10.80 m³/ha, 14.60 m³/ha, 10.25 m³/ha, 19.80 m³/ha, 11.20 m³/ha). Ce fait n'est pas lié directement à l'altitude (le volume est faiblement corrélé négativement à l'altitude -0,0972), mais il est plutôt le résultat de la faible profondeur du sol dans cette zone d'où la forte corrélation négative entre la profondeur du sol et l'altitude.
- Ainsi dans les stations forestières à sol profond, la production est importante. Sur les sols squelettiques par contre, la production est faible quelque soit la situation géographique (Monts des Trara ou Monts de Tlemcen). Le thuya est une espèce réputée relativement thermophile, elle respecte ce statut au Maroc et en Tunisie (**LE HOUEROU, 1995**), alors qu'en Algérie et plus particulièrement en Oranie, l'espèce se développe aussi bien dans les zones thermophiles du littoral (Monts des Trara) que dans les zones intérieures (Monts de Tlemcen) à hivers froids avec des valeurs de « m » de -0,5 à -1,5 °C au contact des steppes (Djebel sidi Abed) (**ALCARAZ, 1982**). Cette répartition est unique en Afrique du Nord
- Enfin, plus le nombre de tiges est important (densité), plus le volume est faible. La forte densité dans ces placettes est liée au passage du feu et l'apparition de rejets de souches qui produisent peu de bois.

En conclusion de cette analyse nous pouvons dire que l'une des principales causes du faible volume des peuplements de thuya est l'extrême densité à l'hectare, dans laquelle ils sont maintenus pendant longtemps. Or, on ne saurait obtenir les dimensions auxquelles ces peuplements deviennent productifs, si l'on n'active pas leur croissance en les desserrant et en les aérant. Les éclaircies constituent donc une opération culturale indispensable dans le traitement du thuya.

5.5 Modélisation de la croissance et de la productivité du thuya :

5.5.1 Qualité et précision des ajustements :

Des tests arithmétiques et graphiques sont utilisés pour pouvoir juger de la qualité d'ajustement et d'adéquation du modèle retenu.

5.5.1.1 Tests arithmétiques :

Le coefficient de détermination (R^2) est utilisé souvent pour tester et évaluer la précision du modèle, mais cela reste insuffisant, d'où la nécessité de calculer d'autres coefficients plus efficaces, ceux-ci sont : l'Akaike Information Criterion (AIC), le carré moyen résiduel (CMR) et la probabilité (P).

Tableau 39 : Tests arithmétiques du modèle retenu

Modèles	Coefficient de détermination (R^2)		Akaike Information Criterion (AIC)		Carré moyen résiduel (CMR)		Probabilité (p)	
	Honaine	Ain Ghoraba	Honaine	Ain Ghoraba	Honaine	Ain Ghoraba	Honaine	Ain Ghoraba
<i>JOHNSON-SCHUMACHER</i>	0.94	0.70	-31.30	-20.32	0.33	0.32	0.00	0.00

Avec un coefficient de détermination proche de 1, le carré moyen résiduel proche de zéro (0), une valeur minimale de AIC et une probabilité inférieure à 0.05, on peut conclure que le modèle JOHNSON-SCHUMACHER est adapté et apte à décrire la croissance du thuya.

5.5.1.2 Tests graphiques (Analyse des résidus) :

➤ **Histogramme des résidus :**

L'examen visuel préliminaire des histogrammes donne un aperçu sur les signes des résidus qui permettent de décider de l'adéquation des modèles.

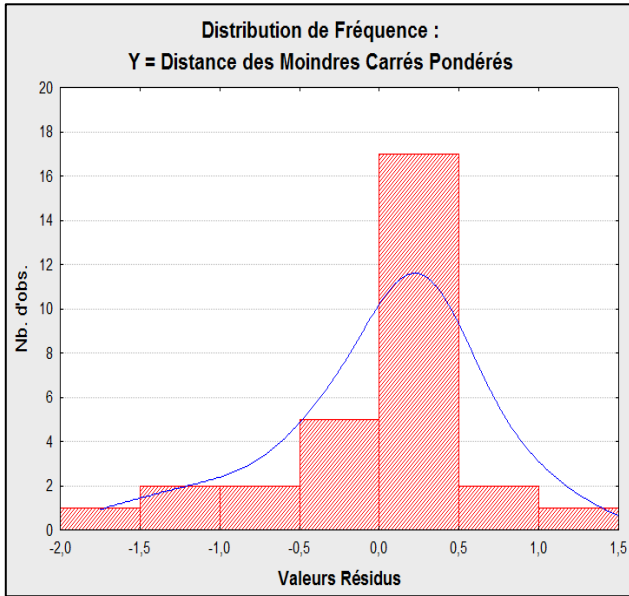


Figure 53 : Histogrammes des résidus du modèle retenu dans la forêt de Honaine

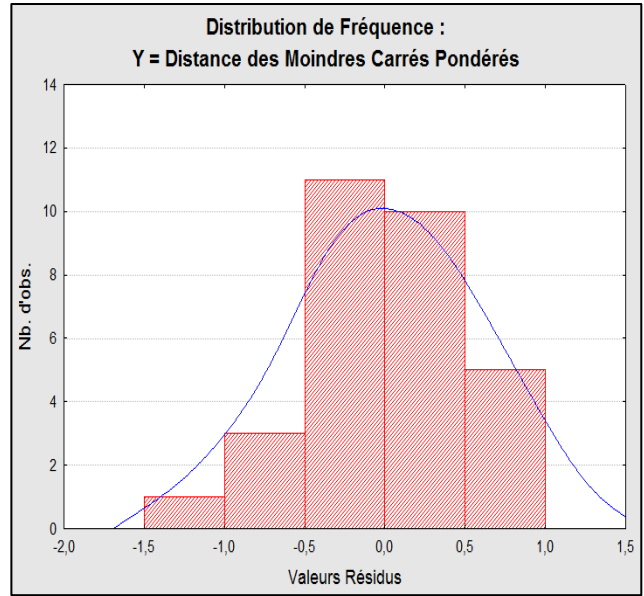


Figure 54 : Histogrammes des résidus du modèle retenu dans la forêt d'Ain Ghoraba

Les figures n° 53 et n° 54 représentent une vérification de la normalité des résidus qui doivent suivre une courbe de gauss, le maximum des points se situe en résidus nuls, ceci justifie l'adéquation et la validation du modèle.

➤ **Tracé normal des résidus :**

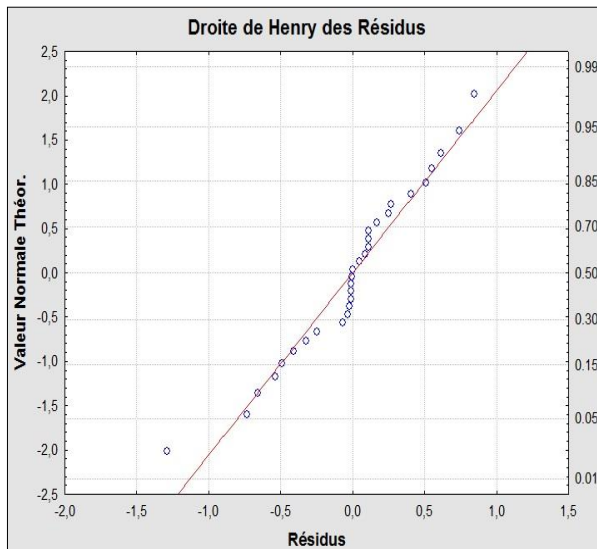


Figure 55 : Tracé Normal (droite d'Henry) des résidus (forêt de Honaine)

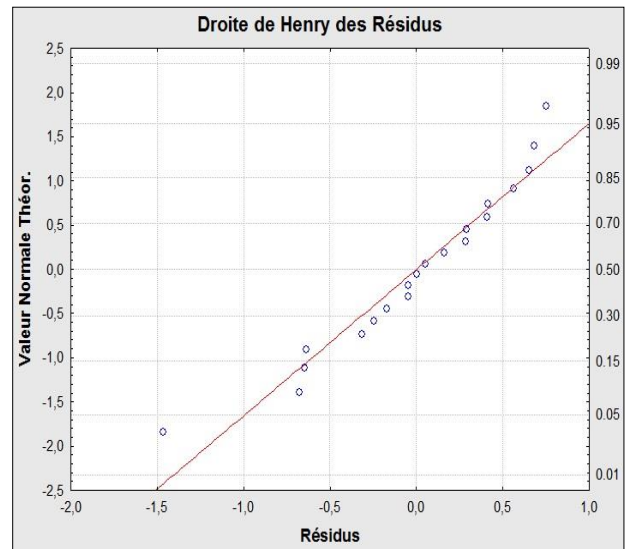


Figure 56 : Tracé Normal (droite d'Henry) des résidus (forêt d'Ain Ghoraba)

Dans l'ensemble, la disposition des résidus sur la droite d'Henry justifie l'adéquation des modèles qui montrent que les résidus sont distribués d'une façon susceptible d'être ajusté par une loi Normale.

5.5.2 Etablissement des courbes de fertilité du thuya :

A partir des hauteurs et des âges mesurés dans les deux zones d'étude, et la représentation graphique du nuage de points (hauteur dominante/ âge), nous avons pu distinguer plusieurs niveaux de productivité, ces niveaux reflètent le potentiel qu'offre le thuya dans la région de Tlemcen.

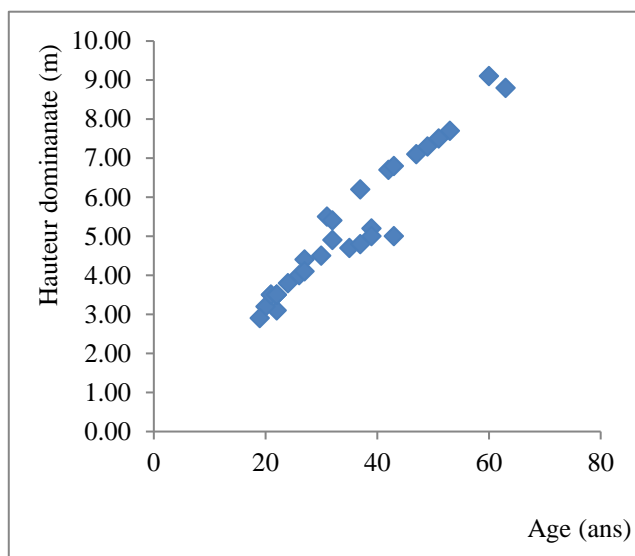


Figure 57 : la répartition de la hauteur dominante en fonction de l'âge (forêt de Honaine)

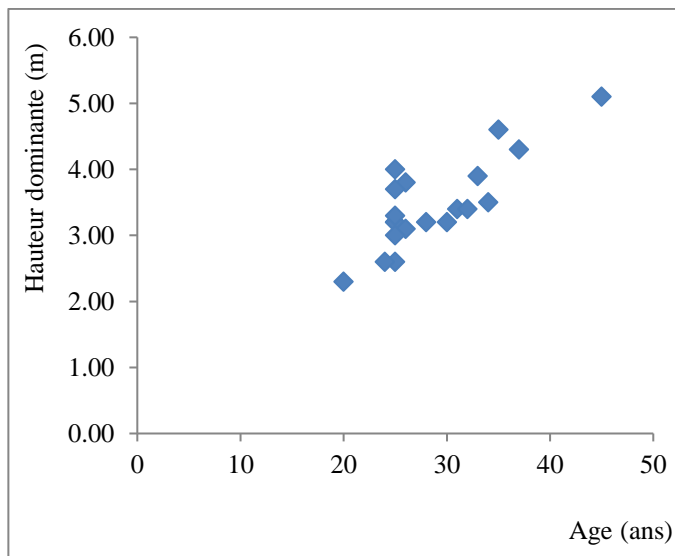


Figure 58 : la répartition de la hauteur dominante en fonction de l'âge (forêt d'Ain Ghoraba)

Le modèle de JOHNSON-SCHUMACHER a permis d'étager la tétraclinaie étudiée en 3 classes de croissance à l'âge de référence de 40 ans (site index ou indice de station).

Les valeurs des paramètres b_0 , b_1 , b_2 calculés pour ces classes de fertilité sont mentionnées dans les tableaux 40 et 41.

Tableau 40 : Valeurs des paramètres du modèle (Tétraclinaie de HONAINE)

Classes de productivité	Indices de productivité	Paramètres		
1	4	0,47	37,93	-3,09
2	6	0,68	31,2	-2,96
3	8	0,97	28,93	-2,86

Tableau 41 : Valeurs des paramètres du modèle (Tétraclinaie d'Ain Ghoraba)

Classes de productivité	Indices de productivité	Paramètres		
1	3.60	0,49	31,07	-2,77
2	4.60	0,69	26,06	-2,55
3	5.60	0,97	23,91	-2,35

Dans la forêt de HONAINE , le modèle établi a permis de définir 3 classes de fertilité d'amplitude égale à 2 m à l'âge de 40 ans, correspondant à des hauteurs dominantes de 4 m, 6 m et 8 m .

Aussi, au niveau de la tétraclinaie d'AIN GHORABA, on a pu déterminer 3 courbes de croissance d'amplitude égale à 1 m, correspondant à des hauteurs dominantes à 40 ans de 3.6 m, 4.6 m, et 5.6 m.

La hauteur dominante en fonction de l'âge des classes de fertilité est représentée dans les tableaux 42 et 43.

Tableau 42: Valeurs des hauteurs dominantes (m) des classes de fertilité du thuya dans la forêt de Honaine

Age	Indices de productivité		
	I ₀ = 4 m	I ₀ = 6 m	I ₀ = 8 m
0	0	0	0
20	1,55	2,8	3,9
30	2,9	4,6	6,3
40	4	6	8
50	4,85	7	9,3
60	5,5	7,8	10,25
70	6	8,4	11
80	6,4	8,9	11,6
90	6,8	9,3	12
100	7,1	9,6	12,4

Tableau 43: Valeurs des hauteurs dominantes (m) des classes de fertilité du thuya dans la forêt d'Ain Ghoraba

Age	Indices de productivité		
	I ₀ = 3.60 m	I ₀ = 4.60 m	I ₀ = 5.60 m
0	0	0	0
20	1,65	2,4	3,1
30	2,8	3,7	4,6
40	3,6	4,6	5,6
50	4,2	5,3	6,3
60	4,65	5,7	6,8
70	5	6,1	7,2
80	5,3	6,4	7,5
90	5,55	6,6	7,8
100	5,75	6,8	8

Les classes de croissances sont matérialisées par un faisceau de courbes qui caractérise leurs différents niveaux de productivité (Figure 59 et 60).

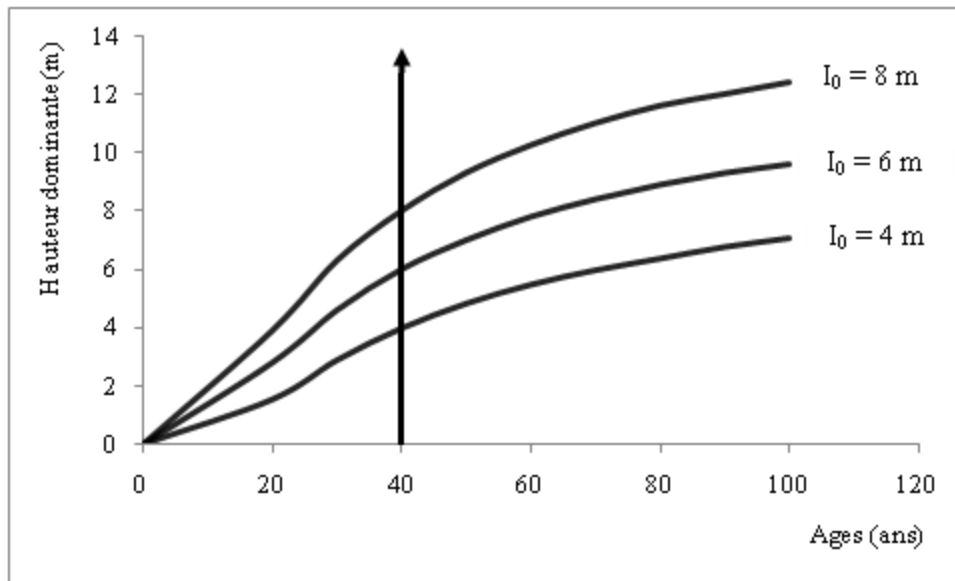


Figure 59 : Courbes de croissance en hauteur dominante du thuya (forêt de Honaine)

Les trois niveaux de productivité retenus sont :

- Première classe de meilleure fertilité avec un indice de station de 8 m à 40 ans
- Deuxième classe de moyenne fertilité avec un indice de station de 6 m à 40 ans
- Troisième classe de faible fertilité avec un indice de station de 4 m à 40 ans

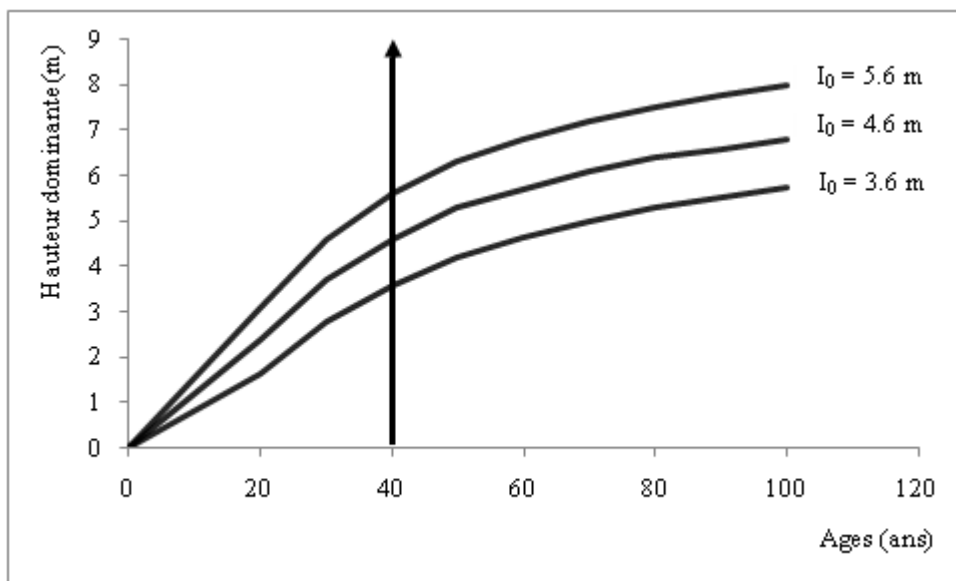


Figure 60 : Courbes de croissance en hauteur dominante du thuya (forêt d'Ain Ghoraba)

La classe intermédiaire s'identifie par une fertilité moyenne (indice de station = 4.60 m), la classe supérieure se caractérise par une bonne fertilité (indice de station = 5.60 m) et la classe inférieure a une fertilité médiocre (indice de station = 3.60 m).

5.5.3 Comparaison des résultats obtenus à celles établies dans d'autres sites :

Les études sur la croissance en hauteur dominante et la productivité du thuya sont très rares en Algérie et peu nombreuses dans les pays de l'Afrique du nord.

Nous allons comparer les résultats obtenus dans l'ouest Algérien avec celles trouvés par **ACHHAL et al (1985)** dans le bassin versant du N' FIS au Maroc, et les aboutissements de **SGHAIER et al (2015)** en Tunisie.

ACHHAL et al (1985), subdivisent les peuplements de thuya étudiés en trois classes de fertilité :

1. Site de fertilité (I) : Il réunit les placettes qui ont une hauteur dominante moyenne de 5.5 m à 50 ans.
2. Site de fertilité (II): Il correspond aux placettes qui ont une hauteur dominante moyenne de 4,5 m à 50 ans.
3. Site de fertilité (III): Il regroupe les placettes qui ont une hauteur dominante moyenne de 3,5 m à 50 ans.

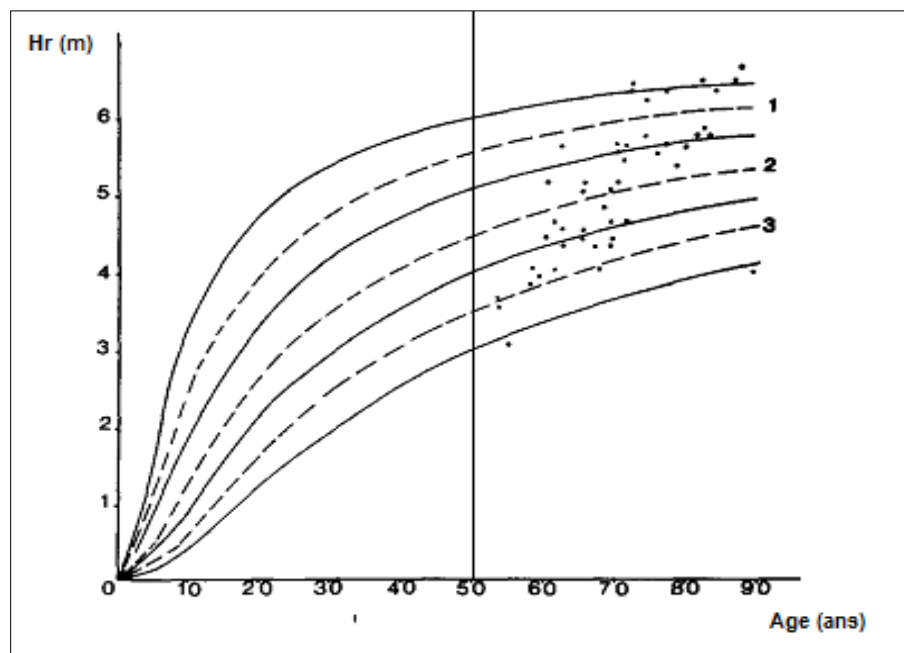


Figure 61 : Courbes de croissance en hauteur dominante du thuya (N' FIS (**ACHHAL et al, 1985**))

Aussi, **SGHAIER et al (2015)**, répartissent le peuplement de thuya étudié en trois classes de productivité à un âge de référence de 40 ans (Figure 60) :

- une classe de bonne fertilité avec un indice de station égale à 7 m à 40 ans
- une classe de moyenne fertilité avec un indice de station de 5 m à 40 ans

- une dernière classe de fertilité médiocre ou l'indice de productivité s'échelle à 3 m à 40 ans.

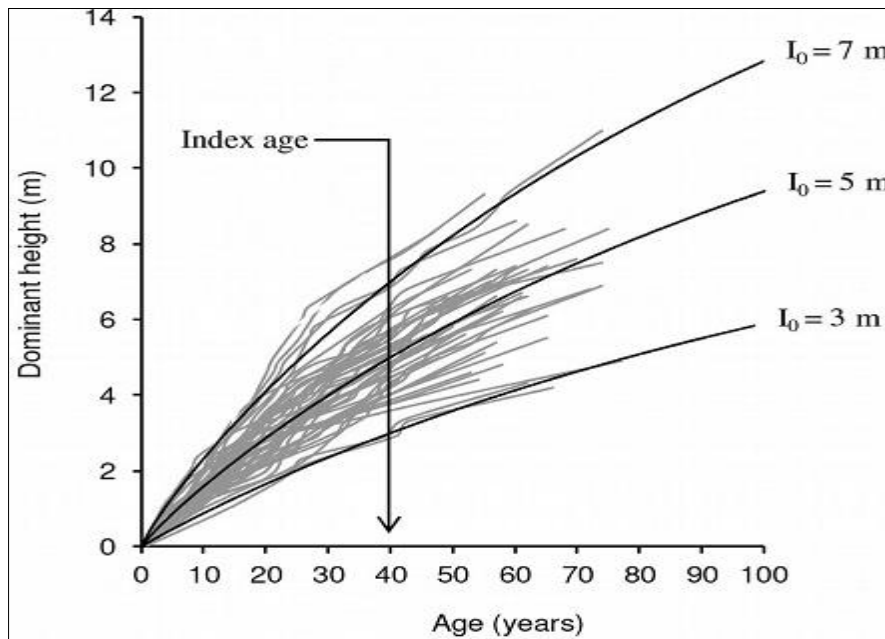


Figure 62 : Curves for site index of 3, 5 and 7 m at the reference age of 40 years overlaid on the trajectories of the observed heights over time for models M5 (SGHAIER et al, 2015).

Les courbes de croissance en hauteur dominante du thuya obtenues par ACHHAL et al (1985) dans le bassin versant du N' FIS au Maroc sont globalement analogues à celles définies dans la tétraclinaie d'Ain Ghoraba malgré un écart moyen de 0.10 m, mais ces résultats présentent nettement une discordance avec la tétraclinaie de Honaine. En effet, le thuya au Maroc présente une croissance moins importante que celle des peuplements étudiés à Honaine.

Par ailleurs, les classes de fertilité définies en Tunisie par SGHAIER et al (2015), ne sont pas du même ordre que nos résultats. La croissance en hauteur dominante du thuya en Tunisie est faible par rapport à la tétraclinaie de Honaine mais importante si on la compare avec la callitraie d'Ain Ghoraba.

Cette divergence entre les résultats s'explique probablement d'une part, par les conditions du milieu très différentes et les mutilations que subit le thuya surtout au Maroc en faveur du secteur artisanal et d'autre part, par l'utilisation d'un modèle de croissance différent de celui adopté pour la région de Tlemcen et qui est susceptible d'influencer l'allure de la croissance en hauteur.

Néanmoins il est opportun de rappeler l'importance des éléments suivants qui peuvent influencer l'allure des courbes de croissance (THIBAUT et al, 2002) :

- l'étendue de la zone géographique concernée,
- la variabilité des conditions édaphiques,
- la qualité et la représentativité de l'échantillonnage pratiqué,
- la méthodologie utilisée pour construire les courbes de productivité,
- l'âge de référence utilisé pour caractériser l'indice de productivité.

5.6 Problématique et facteurs influant la gestion et l'aménagement forestier :

Le thuya a depuis longtemps été considéré comme essence forestière de second ordre, malgré sa vitalité physiologique et sa longévité, sa résistance remarquable aux différents facteurs de dégradation, sa faible exigence écologique vis-à-vis de la nature du sol et des précipitations (CHERIF ,2012).

A la suite des incendies destructifs par leur intensité, l'aire du *Tetraclinis articulata* dans la zone d'étude a diminué et l'allure de la forêt se trouve constamment modifiée et transformée en un matorral plus ou moins dense. Ces groupements forestiers et/ou pré forestiers présentent une proportion élevée de peuplements dégradés, dotés d'une capacité d'adaptation de réponse aux diverses pressions qu'elles subissent, mais ils constituent aussi un capital qu'il convient de protéger en le préservant.

Par ailleurs, le contexte environnemental nord-africain allie une grande hétérogénéité et des fragilités spécifiques du milieu naturel. Malgré la tendance à l'urbanisation enregistrée à l'échelle nationale, il n'en reste pas moins vraie que les provinces forestières demeurent majoritairement rurales. L'utilisation séculaire des terres a donné lieu à plusieurs types de conflits aux frontières de l'agriculture et de la foresterie : défrichement des terres boisées, surpâturage, désertification des zones sèches et érosion des bassins versants dans les secteurs de la montagne (HAJIB et al 2013).

Aussi la problématique de gestion des ressources naturelles se présente-t-elle, de manière plus aiguë, en termes de déséquilibre entre les ressources naturelles d'une part, (sols cultivables, eau de qualité, végétation ligneuse etc.) et, d'autre part, entre les besoins accrus des populations en croissance rapide à la recherche d'une amélioration générale de leurs conditions de vie. Dès lors, les populations se rabattent sur les ressources forestières, disponibles et gratuites, pour y tirer les moyens de leur subsistance.

Sachant, qu'un aménagement forestier et la planification de la gestion des massifs forestiers, est un effort de connaissance se traduisant par une description typologique claire des potentialités du milieu et un effort de réflexion sur les objectifs et les techniques à mettre en œuvre pour assurer, à la fois, la pérennité de l'écosystème et du rendement de ses produits. La vision qui a privilégié la fonction de production ligneuse et la régénération naturelle des forêts a cédé la place progressivement à une conception nouvelle qui repose sur l'adaptation de l'aménagement aux principales vocations et fonctions des écosystèmes et l'implication des

populations usagères et des communes rurales. Cette vision intègre la dimension sociale et environnementale et la conservation de la biodiversité (H.C.E.F.L.C.D, 2013).

En effet, le problème pastoral, les incendies et les défrichements constituent une véritable menace pour le thuya dans les monts des Trara et les monts de Tlemcen. Pour cette raison les peuplements dépassent rarement le stade de taillis, ainsi la productivité de cette essence qui joue un rôle très important dans l'armature forestière reste sous estimée.

La situation sociale précaire des populations riveraines des monts des Trara et des monts de Tlemcen, se traduit par les tendances actuelles de l'utilisation des espaces forestiers et péri-forestiers :

- Le défrichement et la mise en culture de l'espace forestier pour l'extension des exploitations ou la compensation de la perte productivité de leurs terres ruinées par l'érosion.
- La surexploitation des parcours forestiers (les forêts deviennent le recours fourrager exclusif des élevages extensifs).
- L'approvisionnement en bois-énergie
- Urbanisation et infrastructures : Le patrimoine forestier est de plus en plus sollicité par les pouvoirs publics, les collectivités et le secteur privé pour les divers aménagements, engendrant un changement d'affectation non compensé des terres forestières notamment en zone littorale. Le littoral algérien comme celui du Maghreb, est dans son ensemble soumis à une pression humaine importante, plus intense que dans le reste du pays. Cette pression s'exerce depuis des décennies sur la végétation et se poursuit actuellement.
- Les incendies de forêt provoqués par diverses causes, d'origine essentiellement anthropique.
- Le manque de régénération naturelle du thuya à cause de la sécheresse et l'insuffisance des précipitations, leur disparition progressive et l'impossibilité de pratiquer une sylviculture sont des processus très actuels. Les facteurs en cause sont le surpâturage, la surexploitation du bois (surtout bois de feu) et l'utilisation des forêts comme réserve de terres de culture.

Face à l'échec de l'approche classique basé sur les aménagements qui ont négligé la dimension sociale et écologique, la tendance actuelle privilège l'approche d'aménagement concerté qui accorde une attention particulière aux concepts de partenariat et de la

participation. Le principe de l'approche est basée sur la recherche d'un aménagement concerté et pluri-objectifs par massif forestier qui tient compte des objectifs de préservation des formations naturelles et de conservation de la biodiversité, des besoins des populations riveraines et des objectifs de développement socio-économique en périphérie de ces massifs.

Il s'agit finalement d'identifier les vocations des différents espaces forestiers et les formes de gestion les plus appropriées pour préserver et valoriser les ressources de façon durable au bénéfice commun des populations riveraines et de l'intérêt collectif (**BENZYANE et al, 2002**).

5.6.1 Recommandations sylvicoles et perspectives de gestion :

Soucieux de préserver et de développer de façon durable la tétraclinaie et ses richesses forestières, nous devons œuvrer pour la mise en place d'une politique forestière capable d'infléchir voire de renverser les processus de dégradation de ces forêts en prenant en considération la diversité des intérêts liés à la conservation et à l'exploitation des forêts.

L'incendie constitue le problème majeur des peuplements de thuya en Algérie en général et dans l'ouest algérien en particulier. Essence très spécifiquement nord-africaine, les peuplements de thuya sont presque toujours dégradés par les abus de toute nature et les incendies, mais comme il est extrêmement rustique et qu'il conserve jusqu'à un âge avancé une remarquable faculté de rejeter, il a pu se maintenir sur des grandes étendues, dans les plus mauvais sols, mais toujours aux expositions chaudes.

De point de vue sylvicole, la connaissance de la structure de la tétraclinaie et sa dynamique, s'avère fondamentale pour définir les principaux types de traitements sylvicoles. En absence d'une culture adéquate, les peuplements de thuya ne cessent de se dégrader de plus en plus.

La priorité doit être donnée en premier lieu à la caractérisation des différentes structures de la tétraclinaie que l'on rencontre actuellement dans la zone d'étude sur la base d'une clé de détermination, afin de proposer des règles de gestion appropriées.

Cette approche descriptive purement forestière reposant sur la mise en évidence de types de formations qui assure la reconstitution du couvert forestier et répond à deux impératifs forestiers du pays. Elle fournit les connaissances de base à une meilleure gestion des ressources forestières et autorise l'élaboration et l'amélioration des méthodes sylvicoles permettant d'intervenir dans des zones dégradées. Une étude de la régénération par semis est plus que nécessaire car fondamentale pour cerner les aspects de gestion de la tétraclinaie.

En définitive, on peut dire que la callitraie a définitivement pris rang parmi les richesses forestières du pays, qu'elle s'est graduellement élevée dans la hiérarchie sylvicole et qu'elle ne doit plus désormais être traitée en quantité négligeable, comme on avait tendance à le faire autrefois. Il convient, par la suite, de la soumettre, à des méthodes de traitement rationnelles et appropriées à son tempérament. Ces méthodes sont extrêmement simples et d'une application facile et rapide. Nous les avons déjà exposées dans le chapitre 1. Nous nous contenterons donc de les rappeler et d'y joindre quelques informations complémentaires.

Le traitement du thuya, dont on ne s'était guère soucié jusqu'ici est des plus simples, en raison de sa faculté de rejeter de souches jusqu'à un âge avancé et de la lenteur de sa croissance, le seul régime possible comme nous l'avons cité dans le chapitre 1, est celui du taillis. Il y a rarement des semis, mais leur développement est très lent, nous laissons ainsi faire appel aux rejets pour régénérer ces forêts (voir chap1, opérations et traitements sylvicoles en détail).

En définitive, les opérations culturales propres au thuya se limiteront à pratiquer, vers l'âge de 20 ans des dégagements sur souches et ensuite des éclaircies dans les gaulis et perchis, très touffus en général.

La pratique de la sylviculture consiste en une coupe de régénération effectuée à blanc à 60 ans et des éclaircies. Les éclaircies constituent une opération culturale indispensable dans le traitement du thuya, car l'une des principales causes du faible accroissement du thuya est l'extrême densité (1500 à 2000 sujets à l'hectare) des jeunes sujets, il est donc indispensable de les dresser et d'augmenter leur productivité par la pratique des éclaircies.

On ne pratique qu'une seule éclaircie à 25 ans elle tiendra lieu de dépressage (500 à 600 sujets/ha), la seconde se confondant avec la coupe à blanc effectuée au terme de la révolution à 60 ans ou dans les cas les plus favorables à 50 ans.

L'aménagement préventif de ces peuplements se base essentiellement sur la protection contre les feux de forêts, les propositions d'aménagement anti-incendie se résument comme suit :

- ✓ **Tranchée pare feu :** le pare-feu est un obstacle naturel, établi par l'homme, pour empêcher la propagation des incendies ou servir d'appui dans la lutte contre le feu des forêts. Ils sont le plus souvent situés aux interfaces forêt/zone d'activités humaines ou implantées selon la ligne des plus grandes pentes ou sur les crêtes, réalisés au bulldozer et possèdent une largeur minimale de 20 m pour permettre le déplacement et les interventions de l'équipe de lutte. Les normes théoriques sont de 2.5 ha pour 100

ha de forêt. La circonscription des forêts de Ghazaouet dispose d'un réseau de TPF de 540 ha alors qu'elle doit avoir 596.5 ha donc il reste 56.5 ha à réaliser, pour la circonscription des forêts de Tlemcen on enregistre un réseau de TPF de 914 ha ce qui est largement suffisant. D'après ces chiffres on constate que le réseau de TPF existant dans les deux zones d'études est satisfaisant mais l'état de ces tranchés nécessite des travaux d'aménagement.

- **Les pistes :** les pistes constituent un équipement très important pour la protection des forêts contre les incendies, reliées au réseau routier, elles permettent le déplacement et la lutte à l'intérieur d'un massif forestier. Deux éléments sont à prendre dans le choix de l'implantation des pistes, il s'agit de relief et des scénarios de feu.

Les normes de réalisations des pistes forestières sont de 1 kilomètre de piste pour 50 ha de forêt. Pour la zone de Honaine on signale un manque de 26 km à réaliser, on ce qui concerne la circonscription de Tlemcen il ya 81.5 km à réaliser pour atteindre les normes théoriques.

- **Les points d'eau :** en cas d'incendie, il faut recourir à des réserves d'eau. Celles-ci doivent être en nombre suffisant et bien réparties pour réduire les distances donc les durées de ravitaillement et optimiser les interventions sur le feu. Les normes théoriques exigent la présence d'un point d'eau pour 1000 ha de forêts. Pour avoir un nombre suffisant des points d'eau il reste à réaliser 14 points d'eau dans la circonscription de Ghazaouet et 24 points d'eau dans celle de Tlemcen.

- **Poste de vigie :** avant tout choix d'implantation de postes vigies, il est important d'étudier la région afin de pouvoir délimiter les zones devant être couvertes par le réseau. Cette délimitation résulte de la synthèse de différentes études de cartographie des risques d'incendie (aléa, vulnérabilité), Analyse de la difficulté de la lutte (topographie, éloignement des centres de secours, équipements DFCI...).

Pour arriver à contenter les besoins en poste de vigie, il est nécessaire de réaliser un poste au niveau de la circonscription de Ghazaouet et deux postes dans la circonscription de Tlemcen.

Il est bien évident que les incendies constituent les menaces les plus sérieuses sur le thuya en Algérie, mais à cela s'ajoutent d'autres problèmes comme le pâturage, les défrichements, les coupes illicites...etc. Devant cette situation, il est nécessaire de mettre en œuvre une stratégie de conservation et de protection des peuplements de thuya, cette dernière doit se fonder sur les actions suivantes :

- La mise en défens (surface réservée au rajeunissement de la forêt) :

Aucune gestion durable d'une forêt ne peut être garantie, si, pendant un temps déterminé, une partie de cet écosystème n'est pas mise en défens et régénérée.

L'une des particularités des programmes participatifs est leurs caractères incitatifs qui consistent en une compensation des populations concernées par les mises en défens forestières. Ceci permet d'organiser les populations riveraines et de créer des projets socio-économiques collectifs qui génèrent des revenus en milieu rural à travers les montants de la compensation pour la mise en défens.

L'enjeu ici, est de sauvegarder la tétracliniaie sans négliger l'intérêt des usagers. La mise en défens se prolongera pendant 8 à 10 ans avec une révolution de 50 ans.

- Sylvopastoralisme : le sylvopastoralisme est l'utilisation de la forêt comme lieu de parcours pour le bétail, cependant s'il n'est pas contrôlé, le pâturage devient un facteur de risque par l'abrutissement de la régénération. En revanche cette activité si elle est bien gérée, elle peut être d'une efficacité dans l'entretien des zones forestières, on parle alors d'un pâturage contrôlé par une meilleure gestion de l'espace et ce dans le respect d'une charge optimale à l'hectare soit l'équivalent de 1 ovin à l'hectare.

Les opérations de mise en valeur des terrains de parcours doivent être conduites en urgence. Les forêts qui présentent une problématique liée à une forte exploitation pastorale et une couverture boisée destinée essentiellement à la production fourragère, doivent être classées comme forêts à vocation pastorale, et programmées pour des aménagements sylvo-pastoraux en vue de limiter la pression pastorale en forêt.

- Plantation d'arbustes fourragers : l'objectif de ces plantations est d'augmenter à court et à moyen terme la production fourragère en vue de décongestionner les parcours, en fournissant une alimentation du bétail moins dépendante des fluctuations pluviométriques, indispensable en période de sécheresse.

-Travaux de reboisement : les travaux de reboisement sont nécessaires pour la reconstitution du couvert détruit par l'incendie ou par les coupes illicite, à condition que la densité à reboiser soit bien déterminée. Aussi, le thuya doit être pris en considération dans le reboisement de terrain particulièrement déshérité, sous climat très sec de l'étage semis aride, où le pin d'Alep ne pousse que difficilement. Jusqu'ici, le thuya, malgré son extrême rusticité, avait été délaissé, en raison de la lenteur de la croissance des rares qualités physiologiques de l'essence et sa remarquable faculté d'adaptation aux milieux les plus secs, surtout en altitude moyenne.

Pour accélérer la croissance il conviendrait de recevoir les jeunes sujets dès l'âge de 8 ans **(BOUDY, 1950)**.

Nous devons faire de la reforestation et de la régénération des espèces naturelles une action prioritaire de reconstitution et de mise en valeur des ressources forestières. Malgré la recherche d'une réussite technique des programmes de régénération des forêts, les contraintes liées au contexte socio-économique, notamment le surpâturage, ont constitué autant d'entraves à la gestion rationnelle de ces réalisations.

- **Sylviculture préventive** : l'objectif de la sylviculture préventif est d'obtenir une composition et une structure des peuplements permettant de contrarier la propagation du feu et de limiter les dommages causés aux arbres.

L'éclaircie est une opération sylvicole à réaliser dans les peuplements de thuya, elle a pour objectif principal de diminuer la combustibilité du peuplement notamment en réduisant la biomasse, à cet objectif peut s'ajouter un but secondaire d'amélioration de la production de bois. L'éclaircie préventive est tout d'abord sélective : les sujets dominés sont supprimés, les individus à avenir de production sont sélectionnés. Elle peut être également sanitaire quand elle permet d'éliminer les sujets dépérissants.

La nécessité d'une mise en défens de 10 ans après éclaircie sera indispensable en raison de la lenteur de la croissance de l'espèce. Une autre opération nécessaire à pratiquer c'est le dépressage qui consiste à réduire la densité de tige dans une parcelle de régénération pour favoriser la croissance des brins restants. Il doit être réalisé de façon modérée car il favorise le développement du sous-étage.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les forêts de thuya assurent un rôle très important dans la vie sociale et économique des populations riveraines. La surexploitation de ses peuplements, d'une manière régulière ou clandestine, en est la meilleure preuve (**HADDAD, 2008**).

Le Thuya possède aussi un bois de grande valeur, caractérisé par sa couleur rouge brune, son poids lourd et son odeur vive, c'est un bois résineux parfait, il peut fournir des produits diversifiés pour différentes activités économiques (Bois d'ébénisterie et de menuiserie d'une qualité remarquable ; Bois d'industrie (bois de mine) grâce à sa dureté, bois de chauffage brûlant bien avec un charbon léger de bonne qualité (**LAPIE et MAIGE, 1914**) .

Le Thuya produit, en plus, des substances naturelles où elles sont extraites telles que : la résine (gomme sandaraque), le tanin, la colle, le goudron végétal utilisé en pharmacie vétérinaire (**MERADI et CHIALI 1973, MITALI, 1982**).

Les graines et les feuilles de Thuya sont utilisées en médecine traditionnelle (soins dentaires, traitement de la fièvre, problèmes respiratoires, troubles digestifs...etc. (**AMAR, 2001**). D'après **HADDAD (2008)**, le spectre des utilisations de la biomasse de thuya n'est pas limité à ces activités, mais il peut être élargi à d'autres industries telles que : trituration, panneau de particules et l'industrie cellulosique.

Le Thuya, au Maroc et surtout en Algérie, a été tenu jusqu'à ces dernières années pour une essence subalterne, reléguée sur le plan des essences dites secondaires constitutives de la brousse et dont le rôle primordial était essentiellement d'ordre physique. Il a fallu les nécessités impérieuses de la guerre et de l'après guerre pour que cette opinion fut révisée.

Ainsi, la forêt de thuya a pris dans l'économie forestière marocaine une place très intéressante qu'elle n'est pas prête d'abandonner, étant donné les possibilités qu'elle présentera encore pendant de longues années. Ses diverses catégories de produits sont à l'origine du développement de plusieurs activités artisanales et commerciales, constituant une source de revenus et contribuant ainsi à l'essor social (**FANNANE, 1987**).

Toujours, au Maroc, la restauration est en bonne voie, des forêts ont fait l'objet d'un premier aménagement transitoire, apportant de l'ordre et de la méthode dans les opérations de restauration. Soucieuse de leur état de dégradation avancée, la politique forestière marocaine a procédé à leur délimitation, puis à l'instauration d'un programme d'exploitation par coupe rase visant principalement la reconstitution des peuplements ruinés. Plusieurs travaux de recherche ont été entrepris dans ce sens, afin de doter l'aménagiste d'un outil de gestion performant pour faciliter son orientation dans les futures interventions en vue d'une conservation durable.

L'Algérie possède aussi un véritable potentiel forestier avec des possibilités de mises en valeur aussi bien pour la production ligneuse, que pour la protection de l'environnement. Cependant, en Algérie, le thuya a été longtemps considéré comme une formation forestière sans grand intérêt, ces peuplements sont dans un état affligeant de dégradation, et subissent des dommages très importants causés d'une part par les incendies et d'autre part par le surpâturage et les coupes illicites. La reconstitution de ce patrimoine forestier abandonné de point de vue sylvicole, sera longue et lente.

De même, la gestion a été pratiquée jusqu'à ces dernières années d'une manière anarchique. Actuellement la majorité de ces peuplements se présentent sous un état de jeunes taillis ou de taillis adultes contribuant faiblement dans la production de bois de valeur.

Jusqu'à là, en Algérie, les travaux de recherche sur la productivité et la croissance du thuya ont été rares et se résument au calcul du volume et à l'estimation de la possibilité. Pour compléter les travaux existants nous avons jugé utile de mener une étude approfondie pour mieux comprendre la dynamique de croissance en hauteur dominante et la productivité du thuya dans la région de Tlemcen.

En effet, la croissance en hauteur des arbres dominants est l'un des critères le plus utilisé dans la caractérisation des milieux de croissance. Pour une espèce donnée, cet indice qui évolue différemment selon les conditions des stations et un bon indicateur de fertilité. La hauteur dominante à l'âge de référence permet de classer les peuplements dans une échelle de fertilité et de faire aussi une excellente liaison avec la production totale.

L'objectif de ce travail à viser essentiellement, la connaissance de la dynamique de l'évolution de la production de cette espèce et l'élaboration d'un modèle de sylviculture pour une bonne gestion forestière. Pour chiffrer et prévoir l'évolution dans le temps de la tétraclinaie, nous avons étudié la productivité ou la capacité de production de l'essence qui constitue un élément capital en sylviculture.

Notre recherche sur la productivité de *Tetraclinis articulata* dans l'ouest algérien, c'est portée sur des peuplements naturels situés respectivement dans les Monts des Trara (secteur littoral) et les Monts de Tlemcen (secteur intérieur) sur un total de 50 placettes d'échantillonnage de 5 ares de surface.

L'étude entreprise dans les deux massifs a permis de dégager certain éléments de réponse sur le régime de croissance de cette espèce. Ainsi le premier objectif de cette étude, était de

déterminer la structure, d'apprécier la productivité de l'espèce (productivité en volume), et de déterminer des éventuelles liaisons entre les facteurs stationnels (altitude, pente, exposition, profondeur du sol) et la productivité de l'essence en utilisant des illustrations graphiques et statistiques.

Le second but, visait à analyser la dynamique de la croissance en hauteur dominante et d'estimer quantitativement les classes de fertilité afin de prévoir les potentialités réelles qu'offre cette essence en matière d'aménagement.

Les résultats obtenus concernant la structure diamétrique des arbres, mettent en évidence que la structure du peuplement dans les deux zones d'études est plus ou moins régulière. Nous sommes en présence de peuplements jeunes et très denses, le nombre d'arbres ayant des circonférences inférieures ou égales à 40 cm représente 84 % du peuplement. La densité moyenne est de 2550 tiges /ha à Honaine et de 2000 tiges /ha à Ain Ghoraba.

La hauteur moyenne de la forêt de Honaine varie approximativement entre 2 et 7 m et entre 2 et 5 m pour la forêt d'Ain Ghoraba. La valeur moyenne pour l'ensemble de la tétraclinaie est 3.60 m. Quant à la hauteur dominante elle varie entre 3 et 9 m à Honaine et de 4 à 7 m à Ain Ghoraba. La hauteur dominante moyenne est d'environ 5 m pour les deux forêts.

La valeur moyenne de la surface terrière pour l'ensemble de la tétraclinaie s'élève à 3.21 m²/ha.

Les études menées dans des contextes géographiques différents montrent une concordance quant-à l'évolution de la croissance en hauteur du thuya. L'allure et la croissance en hauteur dépendent beaucoup plus des conditions de la station (fertilité) et de l'âge de référence choisi que du modèle adopté dans sa caractérisation.

Les résultats obtenus concernant l'étude de la productivité, montrent que la production en volume des peuplements naturels de thuya est jugée faible, elle est de l'ordre de 9.44 m³/ha en moyenne dans la région de HONAINÉ et de 7.81 m³/ha au niveau d'AIN GHORABA.

La faible production de nos peuplements est certainement due à leur état de dégradation très avancé et leur extrême densité à l'hectare. Face, aux différentes mutilations notamment les incendies, et ne subissant aucun traitement sylvicole, l'arbre réagit en émettant des rejets de souches très denses aux dimensions très faibles. De ce fait, les éclaircies constituent une opération culturale indispensable dans le traitement du thuya pour rendre ces peuplements plus productifs.

Concernant, l'influence des différents facteurs du milieu sur la croissance du thuya, nous avons remarqué que l'influence de l'exposition et de la profondeur du sol sur la productivité de l'espèce est remarquable dans toutes les placettes d'échantillonnage, alors que la pente ne constitue pas un facteur limitant de la productivité. À propos de l'altitude on a constaté que l'espèce se comporte bien dans les basses altitudes mais au-delà de 1000 m la productivité est affectée, car le thuya souffre du froid et fructifie rarement.

La seconde partie du travail entrepris dans le cadre de cette thèse de Doctorat a concerner la modélisation, la méthode utilisée a eu pour but essentiel la construction d'un modèle de croissance du thuya dans la région de Tlemcen.

L'exploitation des données recueillis a permis de tracer les courbes de croissance spécifiques au thuya dans la zone d'étude et de construire un modèle de production simple reconstituant l'évolution de la hauteur dans le temps.

L'ajustement du modèle de JOHNSON-SCHUMACHER au faisceau expérimental a montré de bonne performance, il a donc été adopté pour la modélisation de la croissance de la hauteur dominante et a abouti à l'étagement de la tétraclinaie étudiée en trois classes de fertilité à l'âge de référence de 40 ans.

Dans la tétraclinaie de Honaine 3 classes de productivité d'amplitude égale à 2 m ont été déterminées :

- Première classe de meilleure fertilité avec 8 m à l'âge de référence de 40 ans
- Deuxième classe de moyenne fertilité avec 6 m à l'âge de référence de 40 ans
- Troisième classe de faible fertilité avec 4 m à l'âge de référence de 40 ans.

Le thuya à Ain Ghoraba a été étagé de même en 3 classes de fertilité :

- Meilleure fertilité : Il réunit les placettes qui ont une hauteur dominante moyenne de 5.60 m à 40 ans.
- Moyenne fertilité : Il correspond aux placettes qui ont une hauteur dominante moyenne de 4.60 m à 40 ans.
- Faible fertilité : Il regroupe les placettes qui ont une hauteur dominante moyenne de 3.60 m à 40 ans

Les classes de fertilité déterminées ont été comparées avec ceux trouvées par ACHHAL et *al*, (1985), dans le bassin versant du N' FIS et SGHAIER et *al* (2015), en Tunisie. La confrontation des résultats montre que le thuya au Maroc et en Tunisie présente une croissance moins importante que celle des peuplements étudiés dans la région de Honaine. Par

conte, la tétraclinaie d'Ain Ghoraba présente une croissance en hauteur dominante similaire avec celle du thuya au Maroc, mais faible par rapport aux peuplements étudiés en Tunisie.

Le maximum de productivité est atteint au jeune âge jusqu'à 30 ans, pour surtout la meilleure et moyenne classes de fertilités, l'âge moyen d'exploitabilité optimal de la forêt est fixé à 50 ans, à ce stade le diamètre des tiges approche 20 cm nécessaire au bois d'œuvre. La croissance en hauteur dominante pour toute classe confondue ralentie d'une façon significative au-delà de 50 ans.

La sylviculture proposée doit se baser sur la description des peuplements à travers une étude typologique. Le choix de la sylviculture repose prioritairement sur le souci d'assurer la stabilité du peuplement et la production de bois à travers des opérations d'améliorations.

En effet selon **BENABID (1976)**, il a été démontré que l'augmentation en volume croit considérablement après le dépressage ou l'éclaircie des peuplements trop serrés du thuya.

Les actions sylvicoles proposées dans les chapitres précédents visent l'obtention d'une forêt à la fois pérenne et productive, les taillis naturels du thuya de berbérie donneraient des perches de meilleures dimensions si l'on pratiquait un minimum de sylviculture tel que le crochetage du sol, l'aide à la régénération par semis, le dépressage, la sélection des provenances des semences.....etc (**HADJADJ-AOUL, 1999**).

L'objectif stratégique des programmes de la conservation forestière devrait viser l'inversion des tendances actuelles de la dégradation du couvert forestier par le reboisement, la régénération et l'amélioration sylvo-pastorale, ainsi que le développement intégré des zones forestières et péri forestières. La recherche doit s'orienter pour investir davantage ces thématiques par la mise en œuvre de nouvelles approches de conservation et de gestion durable de ressources naturelles.

Les résultats obtenus par la mesure de la productivité du thuya constituent un premier élément de base pour une meilleure connaissance de cette essence. Ce type d'études constitue un diagnostic permettant d'évaluer les contraintes et les aptitudes du milieu. Ce travail encore très partiel a permis d'éclairer quelques points essentiels concernant la modélisation du thuya. Le modèle obtenu a été soigneusement étudié, analysé et développé dans une perspective de stimuler la dynamique des écosystèmes forestiers. Une telle démarche fournit au gestionnaire un outil simple et efficace pour l'évaluation du milieu. La gestion durable de ces formations forestières en faveur du développement humain est un défi que le pays doit relever dans le cadre de ses stratégies de développement économique et social.

*Références
bibliographiques*

- ABBAS H. (1986).** La productivité des forêts de pin d'Alep dans le sud-est méditerranéen français. Analyses écodendrométriques. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1, 127-156.
- ABDELOUAFI D. (2004).** La forêt marocaine. Edi. [S. l.] : Al Karama. 195 p.
- ACHERAR M. (1981).** La colonisation des friches par le Pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) dans les basses garrigues du Montpellierais. Thèse, doctoral 3^{ème} cycle, Académie de Montpellier, U.S.T.L., 210 p.
- ACHHAL A., BARBERO M., ECH-CHAMIKH S. (1985).** Thuya productivity *Tetraclinis articulata* in the catchment area of the n'fis. *Ecologia Mediterranea* 11, (2-3) : 201-212
- AIME S. (1991).** Etude écologique de la transition entre les bioclimats sub-humide, semi-aride et aride dans l'étage thermoméditerranéen du tell oranais (Algérie nord-occidentale). Thèse Doc. Etat : Université Aix-Marseille3. 190 p. + annexes.
- AIDOUD A. (1983).** Contribution à l'étude des écosystèmes steppiques du Sud-Oranais : phytomasse, productivité primaire et applications pastorales. Thèse Doctorat. 3^{ème} cycle. Univ. Sci. Tech. H. BOUMEDIENE, Alger, 245 p + annexes.
- ALCARAZ C. (1969).** Etude géobotanique du pin d'Alep dans le Tell oranais. Thèse spécialité : Université Montpellier. 183 p. + annexes, Cartes et Tableaux.
- ALCARAZ C. (1982).** La végétation de l'Ouest algérien. Thèse d'état : Université de Perpignan. 415 p. + annexes. Cartes. Tableaux.
- ALCARAZ C. (1983).** La Tétracinaie sur terra rossa en sous-étage subhumide inférieur chaud en Oranie (Ouest algérien). *Ecologia Mediterranea*, T. IX : 109-135
- ALDER D. (1980).** Estimation des volumes et accroissements des peuplements forestiers. organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture Rome, Vol 22/2, 226 p.
- AMIGUES S. (1991).** Le témoignage de l'antiquité classique sur des espèces en régression. *Revue forestière française*. 43 (1). 47-58. Reprinted in *Amigues* 2002 .263-276.
- AMAR A. (2001).** À partir de plantes médicinales localisées dans la région d'AIN GHORABA (wilaya de Tlemcen). Thèse de Magistère. Méd. Pop. Université de Tlemcen. Vol I, 63 p.
- ARFA A. (2008).** Les incendies de forêt en Algérie : Stratégies de prévention et plan de gestion. Mémoire Magistère. SNV. Univ. MENTOURI-Constantine, 115 p.
- ARAGO D. (2008).** Dictionnaire universel d'histoire naturelle. T4. SEINE-ST.GERMAIN. 715 P.

- AUCLAIR L. (1993).** Régulations démographiques et environnement, les Etudes du CEPED, n° 18, Institut de Recherche pour le Développement/Centre Français sur la Population et le Développement/Laboratoire Population-Environnement, Paris, 45-56 pp.
- AYACHE F. (2007).** Les résineux dans la région de Tlemcen (aspect écologique et cartographie). Thèse. Magistère. Univ Abou Bekr Bekaid Tlemcen. 147 p.
- AYACHE F., BOUAZZA A. (2008).** Le pâturage en forêt dans la région de Tlemcen (cas des forêts à résineux). Colloque international « Développement durable des produits animales : enjeux, évaluation et perspectives », Alger, 10 p.
- AYMAN F. (2006).** Assessment of impacts, adaptation and vulnerability to climate change in Nord Africa. Food production and water resources. Agriculture Research Center. Egypt, 148 P.
- BAIZE D., GIRARD M-C. (2008).** Référentiel pédologique 2008. Association française pour l'étude du sol (A.F.E.S), Collection Savoir-faire, Éd. Quae, 405 P.
- BAGNOULS F., GAUSSEN H. (1953).** Saison sèche et indice xérothermique. Doct. Cart. Prod. Vég. Ser. Gen II, 1, art. VIII, Toulouse, 47 p. 1 carte.
- BARBERO M., QUEZEL P., RIVAS MARTINAZ S. (1981).** Contribution à l'étude des groupements forestiers et pré forestiers du Maroc. Phytocoenologia, 9 (3). p : 311- 412
- BARBERO M., LOISEL R., QUEZEL P. (1984).** Rôle des facteurs anthropiques dans le maintien des forêts et leurs stades de dégradation en région méditerranéenne. C.R. Soc. Biogéographie. 59 (4) : 475-488.
- BARBERO M., BONIN G., QUEZEL P., LOISEL R. (1990).** Les apports de la phytoécologie dans l'interprétation des changements et perturbations induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéens. Forêt Méditerranéenne. XII : 194-215.
- BARBERO M., QUEZEL P. (1995).** Desertification, aridification in the mediterranean and global changes in functioning and dynamic of natural and perturbed ecosystems. Bellan . Bonin et Emig Edit., Lavoisier. Paris 549-569.
- BEAL D.J. (2005).** SAS Code to Select the Best Multiple Linear Regression Model for Multivariate Data Using Information Criteria. Science Applications Internationale Corporation (SAIC), Tennessee, USA, 6 p
- BECAGROM. (2010).** Etude relative à la délimitation et la caractérisation des zones de montagne : MASSIF MONTAGNEUX TRARA, SEBAA CHIOUKH, BERKECHE ET TESSALA (Wilaya de Tlemcen, Ain Témouchent et Sidi Bel Abbes). Phase III. Avant projet de qualification et classification. 159 p.

- BELGHAZI B., EZZAHIRI M., ROMANE F. (2000).** La productivité des forêts de pin d'Alep dans la forêt de Tamga (Haut Atlas marocain), *Ecologia Mediterranea* 4, pp. 521-529
- BENABDELLAH M.A. (2002).** Contribution à l'étude éco-dendrométrique du Thuya de berberie (*Tetraclinis articulata Vahl Master*) dans la région de Ain Ghoraba (W. Tlemcen). Thèse. Ing. Forest. Univ. Tlemcen, 92 p + Annexes.
- BENABDELLAH M.A. (2011).** Analyse phytoécologique des groupements à thuya (*Tetraclinis articulata (Vahl) Masters*) et à chêne vert (*Quercus rotundifolia Lam.*) dans les monts de Tlemcen (Algérie occidentale). Thèse. Doctorat. Forest. Univ. Tlemcen, 270 p
- BENABDELI K. (1983).** Mise au point d'une méthodologie d'appréciation de la pression anthropozoogène sur la végétation dans la région du Telagh (Algérie). Thèse Doc. Sép. : Université Aix-Marseille III. 150 p.
- BENABDELLI K. (1992).** Revue EL ardh n°21. Edit. O.P.U. 45 p.
- BENABDELLI K. (1996).** Aspects physiono-structural et dynamique des écosystèmes forestiers face à la pression anthropozoogène dans les Monts de Tlemcen et les Monts de Dhaya (Algérie septentrionale occidentale). Thèse Doc. Es Sc. Univ. Sidi Bel Abbes. T. 1, T. 2, Annexes. 356 p.
- BENABID A. (1976).** Etude écologique, phytosociologique et sylvo-pastorale de la Tétracлинаie de l'Amisttène. Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Aix Marseille III 155 p.
- BENABID A. (1977).** Etude sylvo-pastorale de la tétracliniaie de L'Amisittène (Maroc). *ECO. Medit.* N°3. Pp 125-139.
- BENABID A. (1982).** Etude phytoécologique, biogéographique, et dynamique des associations et séries sylvatiques du Rif occidental (Maroc). Thèse Doc. Es science : Université de Marseille. 199 p + annexes.
- BENABID A. (1984).** Etude phytoécologique des peuplements forestiers et preforestiers du rif Centro-occidental (Maroc). *Trav. Inst. Sc. sér. Bot.* 34.1-64. Rabat.
- BENEST M. (1982).** Importance des décrochements sénestres (N-S) et dextres (E-W) dans les Monts de Tlemcen et de Daïa (Algérie Occidentale). *Rev. Géol. Dayn. Géogr. Phy.* Vol. 23, pp. 345-362.
- BENEST M. (1985).** Evolution de la plate forme de l'ouest algérien et du Nord-est Marocain au cours du jurassique supérieur et au début du crétacé : stratigraphie, milieux de dépôt et dynamique sédimentaire". *Doc – Lab-Géol. Lyon n°95. (Fasc1).* Département des sciences de la terre. Université Claude Bernard. Lyon. 367 p.

BENEST M., DEBARD E., BAGHLI A. (1991). Les paléosols à plantes du Pléistocène inférieur du nord ouest algérien: environnement et importance des alternances climatiques .Geobios, N° 24, fasc. 6. 674 P.

BENEST M., BENSALAH H. (1995). L'Eocène continental dans l'avant-pays Alpin d'Algérie : environnement et importance de la tectogénèse atlasique polyphasée. Bull. Serv. Géol. L'Algérie. Vol. 6, n° 1, pp 41-59, 8 figures.

BENMEHDI I., HASNAOUI O., HACHEMI N., BOUAZZA. (2013). Les espèces fidèles à *Pistacia lentiscus* du littoral de la région de Honaine-Wilaya de Tlemcen (Algérie occidentale). Rev. MED. Eposca II. N°24. Pp : 105-131

BENTOUATI A. (2006). Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) du massif d'Ouled Yagoub (Khenchla – Aurès) .thèse doctorat inst d'agronomie univ Batna .115 p.

BENTOUATI A., OUDJEHIB B., ALLATO D. (2005). Croissance en hauteur dominante et classe de fertilité du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) dans le massif de OULED-YAKOUB et des BENI-OUDJANA (KHENCHELA –AURES). Rev. Science et technologie .N°23.pp 57-62.

BENZYANE M., M'HIRIT O., MESSAT C., EL-HASSANI M., FECHTAL M., SAMIH A. (2002). Conduites des plantations résineuses. Stations de recherches forestières. 50 p. region. Biological diversity in space and time, 2nd ed. Oxford University Press, Oxford.

BENZYANE M., NAGGAR M., LAHLOU B. (2002). L'aménagement des forêts sud-méditerranéennes : quelle approche ? . Revue forêt méditerranéenne. T. XXIII, n°3, pp. 201-210.

BERRAYAH M. (2006). Analyse de la dynamique des systèmes et Approche D'aménagement Intégrée en zones de la Montagnes Cas des Montagnes des Trara (Wilaya De Tlemcen). Thèse Magistère. Univ Abou Bekr Bekaid Tlemcen.170 p.

BILEM A. (2010). Contribution à l'étude histologique du *Chamaerops humilis* L.Approche comparative des Monts de des Trara et Monts de Tlemcen. Thèse. magistère.Uni oran. 164 p + annexes.

BLANC L. (1998). Les formations forestières du Parc national de Cat Tien (Viet Nam) : caractérisation structurale et floristique, étude de la régénération naturelle et de la dynamique successionnelle. Thèse de doctorat en écologie forestière : Université Lyon1. 206 p.

BLONDEL J., MEDAIL F. (2009). Biodiversity and conservation. In : Woodward J.C. (ed.). The physical geography of the Mediterranean. Oxford University Press, Oxford, pp. 615-650

- BLONDEL J., ARONSON J., BODIOU J.-Y., BOEUF G. (2010).** The Mediterranean.
- B.N.E.D.E.R. (1993).** Etude de développement hydro-agricole à travers la wilaya de Tlemcen. Bureau National d'Etude pour le Développement Rural. Algérie.
- B.N.E.D.E.R. (2009).** Plan national de développement forestier (PNDF). Rapport de synthèse nationale. Alger.85 p.
- BOISSEAU B. (1996).** Ecologie du pin pignon et pin brutia : détermination d'un indice de fertilité en fonction du milieu.Rev.For.Fr.XLVIII (4).pp 321-335.
- BONTEMPS J.-D., VALLET P., HERVE J.-C., RITTIE D., DUPOUEY J.-L., DHÔTE J.-F. (2005).** Des hêtraies qui poussent de plus en plus vite : vers une forte diminution de leur âge d'exploitabilité ? Revue Forestière Française, LVII (2), pp 123-142.
- BONTEMPS J.-D., DUPLAT P., HERVE J.-C., DHÔTE J.-F. (2007).** Croissance en hauteur dominante du hêtre dans le Nord de la France: des courbes de référence qui intègrent les tendances à long-terme. Rendez-Vous Techniques, ONF HS n°2, 39-47.
- BONTEMPS J.D., LONGUETAND F., FRANCESCHINI T., CHARRU M., CONSTANT T. (2012).** L'estimation de la biomasse et de la productivité forestière à l'épreuve des changements environnementaux. Innovation Agronomique. Pp 39-52
- BOUAMAEUR Kh. (2006).** La mise en évidence de l'intérêt du littoral des Trara (Ouest Algérien) Comme aire protégée et stratégie de sa conservation. Mémoire d'ingénieur en sciences forestières : Université de Tlemcen, 89 p.
- BOUAZZA M., BENABADJI N. (1998).** Composition floristique et pression anthropozoïque au Sud- Ouest de Tlemcen". Rev. Sci. Techn. N°10. Constantine. Pp.93-97.
- BOUDY P. (1950).** Economie forestière Nord Africaine. Tome II : monographies et traitement des essences forestières, Fasc.2 : monographie et traitement du thuya de berbérie. Larousse, Paris. PP 707-739.
- BOUDY P. (1952).** Guide du forestier en Afrique du Nord. Paris maison rustique. 509 p : 94 figures. 1 carte.
- BOUCHENAFI L. (1995).** Problématique d'aménagement d'une zone littorale par approche cartographique : cas des communes de Ghazaouet, Souahlia, et souk Tlata. Thèse. Ing. Eco. Univ. Laval. Québec. Pp : 26-48.
- BOUCHON J. (1982).** Tarifs de cubage à deux entrées pour le Hêtre (*Fagus sylvatica*) en France. Rev. For. Fr, Vol. XXXIV. 3,225- 236

- BOURKHISS M., HNACH M., LAKHLIFI T., BOURKHISS B., OUHSSINE M., SATRANI B. (2010).** Caractérisation de l'huile essentielle de la sciure de bois de *Tetraclinis articulata* (VAHL) Master. Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège. 79: 4 – 11
- BOURKHISS M., LAKHLIFI T., CHOUACH A., OUHSSINE M. (2016).** Intérêt de l'huile essentielle du thuya de berbérie. *Phytothérapie* 14 : 109 – 111
- BROCHIERO F., CHANDIOUX O., RIPERT C., VENNETIER M. (1999).** Autécologie et croissance du pin d'Alep en provenance calcaire. *Forêt méditerranéenne*. XX (2). Pp 83-94.
- BUONGIORNO J., PEYRON J.L., HOULLIER F., BRUCIAMACCHIE M. (1995).** Growth and management of mixed-species, uneven-aged forest in the French Jura: implications for economic returns and tree diversity. *Forest science*, 41 (3), 397-429.
- CHAKIR A. (1999).** Contribution à l'étude de la consommation de bois d'œuvre de thuya par la marqueterie dans la ville d'Essaouira". Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé, Maroc.
- CHARRU M., SEYNAVE I., MORNEAU F., BONTEMPS J-D. (2010).** Recent changes in forest productivity: An analysis of national forest inventory data for common beech (*Fagus sylvatica* L.) in north-eastern France. *Forest Ecology and Management* 260, 864-874.
- CHARRU M. (2008).** Caractérisation de l'évolution récente de la productivité des peuplements réguliers de hêtre et de chêne sessile dans le nord de la France à partir des données de l'Inventaire forestier national. Colloque INRA. Modélisation pour les ressources naturelles. 38 P.
- CHERIF I. (2012).** Contribution à une étude phytoécologique des groupements à *Tetraclinis articulata* du littoral de Honaine (Algérie occidentale). Magister En Ecologie et Biodiversité des Ecosystèmes Continentaux. UNIVERSITE DE TLEMCEM. 216 p.
- CLAIRE A. (1973).** Notice explicative de la carte lithologique de la région de Tlemcen au 1/100000.
- COLLIGNON B. (1986).** Hydrologie appliquée des aquifères karstiques des Monts de Tlemcen (Algérie), Tome 1. Mémoire de Doctorat nouveau régime, en hydrogéologie, Univ. D'Avignon
- COUHERT B., 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.
- DAGET Ph. (1977).** Le bioclimat méditerranéen. Caractères généraux. Mode de caractérisation. *Végétatio*. Vol 34,2 :1-20.

- DAGET Ph. (1980).** Sur les types biologiques en tant que stratégie adaptative (cas des thérophytes). In : BARBAULT R., BLANDIN P., MEYER J.A (eds). Recherche d'écologie théorique, les stratégies adaptatives. MALOINES. PARIS : 89-114.
- DAGNELIE P. (1956).** Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les Types phytosociologiques et les facteurs écologiques. Gembloux, 24,249-284 et 369-410.
- DAGNELIE P. (1957).** Recherches sur la productivité des hêtraies d'Ardenne en relation avec les types phytosociologiques et les facteurs écologiques. Bull. Inst. Agro. et Sta. Rech. Gembloux, Tome XXV, n°1-2, 45-91.
- DAHMANI M. (1984).** Contribution à l'étude des groupements à chêne vert des monts de Tlemcen (Ouest algérien). Approche phytosociologique et phytoécologique. Thèse Doctorat. 3° Cycle : Univ. H.BOUMEDIEN, Alger. 238 p+ annexes.
- DAHMANI M. (1997).** Le Chêne vert en Algérie. Syntaxonomie, phytoécologie et dynamique des peuplements. Thèse Doctorat Es Sciences : Université des Sciences et Technologie, Alger. 384 p.
- DAHMANI K-S. (2010).** Contribution à la réhabilitation durable de la forêt de Guétarnia (Sidi Bel Abbés). Thèse Magistère. Univ Abou Bekr Bekaid Tlemcen. 110 p.
- DE ROSNY L. (1856).** Notice sur le Thuya de barbarie et sur quelques autres arbres de l'Afrique Boréale. Imprimerie de Pommeret et Moreau, 17.France.19 p.
- DE TURKHEIM B ., BRUCIAMACCHIE M. (2005).** La futaie irrégulière, Théorie et pratique de l sylviculture, continue et proche de la nature. Edisud. Aix-en. Provence, 286 p.
- DEBOUCHE C. (1979).** Présentation coordonnées des différents modèles de croissances. Revue de statistique appliquée, tome 27, n°4, pp 5-22
- DEBRACH J. (1958).** Note sur les climats du Maroc occidental. Maroc médical .32 (342). 1122-1134.
- DECOURT N. (1966).** Instructions pour l'assiette et les mensurations des placettes temporaires et semi-permanentes. Station de sylviculture et de production, 8 p.
- DECOURT N. LEMOINE B. (1969).** Le Pin maritime dans le sud-ouest de la France Tables de production provisoires. Ann. Sci. Forest., 26 (1), 3-44.1973
- DECOURT N. (1973).** Protocole d'installation et de mesures des placettes de production semi-permanentes. Ann. Sci. Forest., 29 (1), 49-65.
- DELABRAZE P., VALETTE J.C. (1974).** Etude de l'inflammabilité et combustibilité. Consultation FAO sur les incendies de forêt en méditerranée.

- DE MARTONNE E. (1926).** Une nouvelle fonction climatologique : l'indice d'aridité. La météo. 449-459.
- DJEBAILI S. (1984).** La steppe algérienne, phytosociologie et écologie, O.P.U, Alger, 127 p.
- DHOTE J.F., CORDONNIER T., DREYFUS P., LE GOFF N. (2005).** Quelques enjeux autour des forêts hétérogènes tempérées. Rendez vous techniques, ONF Fontaine bleu, Vol. 10, 22-31.
- DREYFUS Ph., BRUNO E –NAUDE J.P. (2001).** Indice de fertilité stationnelle, alternative fondés sur des données écologiques : Evolution de la hauteur dominante des peuplements réguliers de pin d'Alep. Rev. For. Fr. LIII - 3-4 : pp 378-390.
- DUCHAFOUR Ph. (1977).** Pédologie, Tome I : Pédogénèse et classification. Ed. Masson et Cie. Paris. 477 p.
- DUCHAFOUR Ph. (1983).** Pédologie. 1 pédogénèse et classification. Ed. Masson. 2^{ème} Ed. Paris, 491 p.
- DUCHIRON M.S. (1994).** Gestion des futaies irrégulières et mélanges. Edition par l'auteur, 320 p.
- DUPLAT P. (1986).** Modèle de croissance en hauteur dominante pour le hêtre (*Fagus sylvatica L.*), le sapin pectiné (*Abies alba Miller*), le pin sylvestre (*Pinus sylvestris L.*) dans le massif de l'Aigoual. O.N.F., Section Technique, Doc. 86.1, 34 p + annexes.
- DURAND E. BARRATTE G. (1910).** Florae Libycae Prodromus. Romet, Genève. 330 p
- DOUMERGUE F. (1910).** Carte géologique de l'Algérie au 1/50.000. Feuille n° 271, Lamoricière; Feuille n° 300, Terny ; feuille n° 270, Tlemcen. Publ. Serv. Carte géol. Algérie.
- DREF (Division de recherche et expérimentation forestière). (2002).** Thuya : importance écologique et économique. [Thuya: Ecological and economic importance]. Terre et Vie 52: 4.
- DREUX Ph. (1980).** Précis d'écologie, ED, presses universitaires de France. Paris. 231p.
- EL ALAMI S. (2013).** Contribution à la caractérisation physique et mécanique et à la valorisation par le séchage du bois de la forêt marocaine cas des eucalyptus et la loupe de thuya. Thèse .Doctorat. Faculté des Sciences. Rabat-Maroc. 129 p.
- EL HAMROUNI A. (1978).** Etude phytosociologique et problème d'utilisation et d'aménagement dans les forêts de pin d'Alep de la région de Kasserine (Tunisie centrale). Thèse 3^{ème} cycle. Univ. Aix Marseille III. 106 p.
- ELIE DE LADRI MAUDAIE F. (1860).** Le commerce et la navigation de l'Algérie. Revue Algérienne et coloniale. 387 p.
- ELMI S. (1970).** Rôle des accidents décrochant de direction SSW-NNE dans la structure des monts de Tlemcen (ouest algérien). Rev.Gev.Bot., 42 : 2-25.

- EL MOURIDI M. (2011).** Caractérisation mécanique de la loupe de thuya (*Tetraclinis Articulata (Vahl) Masters*) en vue de sa valorisation. Thèse. Doctorat. Univ. Mohammed V. Maroc. 121 p.
- EMBERGER L. (1930).** La végétation forestière et préforestière de la Tunisie. Typologie et éléments pour la végétation. Thèse Doctorat. Es Sciences. Univ. Aix Marseille III. 120 p.
- EMBERGER L. (1938).** Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique. Bull. SX. Hist. Nat. Toulouse, 77 pp : 97 – 124.
- EMBERGER L. (1939).** Aperçu général sur la végétation du Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc à 1/1 500 000. Veröff. geobot. Inst., Zürich, 14 : 40-15
- EMBERGER L. (1942).** Un projet de classification des climats du point de vue phytogéographie. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, France, 77, 97-124.
- EMBERGER L. (1952).** Sur le quotient pluviothermique. C.R.A.Sc. CCXXXIX : 2508-2510.
- EMBERGER L. (1971).** Travaux de botanique et d'écologie". Publié avec le concours du C.N.R.S. Ed. Masson et Cie. 520 p.
- ETTER H. (1949).** Uber die Ertragsfahigkeit verschiedener Standortstypen. *Mitl. Schweiz. Anst. forstl. Versuchw.* 26,91-151.
- FAO. (1999).** Situation des forêts du monde. Rapport sur les forêts africaines : une vision pour 2020. Division de l'information. FAO. Rome. Italie
- FAVRICHON V. (1995).** Modèle matriciel déterministe en temps discret. Application à l'étude de la dynamique d'un peuplement forestier tropical humide (Guyane française). Thèse de Doctorat, Université Claude Bernard – Lyon I. 252 p.
- FAVRICHON V., GOURLET-FLEURY S., BAR-HEN A., DESSARD H. (1998).** Parcelles permanentes de recherché en forêt dense tropicale humide. Eléments pour une méthodologie d'analyse des données. Série FORAFRI. CIRAD-Forêt. Montpellier cedex 1. France. 67 p.
- FENNANE M. (1982).** Analyse phytogéographique et phytoécologique des Tétracлинаies marocaines. Thèse doc. 3^{ème} cycle : Université Aix Marseille III. 146 p
- FENNANE M., BARBERO M., QUEZEL P. (1984).** Le thuya de berbérie au Maroc- Aperçu phytogéographique et écologique. Bull. Insti. Scient. N°8.Rabat.
- FENNANE M. (1987).** Etude phytoécologique des Tétracлинаies Marocaines. Thèse d'état. Annexes, tableaux phytosociologiques. Univ. Aix Marseille III. 150 p
- FENNANE M. (1988).** Phytosociologie des tétraclinaies marocaines. Bull. Inst. Sci., Rabat, n°12 : 99-148.

- FONWEBAN J.N. (1995).** Modélisation de la production des peuplements forestiers : applications aux peuplements d'*Eucalyptus saligna* au Cameroun. Ann. sci. For, 52 :263-281
- FONWEBAN J.N., HOULIER F. (1995).** Modèle de croissance en hauteur à partir de placettes temporaires pour *Eucalyptus saligna* au Cameroun. Ann. sci. Forest, 52, 513-528.
- FOUCART L. (1985).** Analyse factorielle : programme sur microordinateur. 2^{ème} édition. Ed .Masson et C^{ie}.233 p.
- GALIBER L. (1844).** L'Algérie ancienne et moderne depuis les premiers établissements des carthaginois jusqu'à la prise de la Smalah d'Abd-El-Kader. Ed. Furne. Paris. 637 p.
- GAOUAR A. (1980).** Hypothèse et réflexion sur la dégradation des écosystèmes forestiers dans la région de Tlemcen (Algérie). Forêt méditerranéenne II, 2pp :141 – 146.
- GARBAYE J., LEROY Ph., LE TACON F., LEVY G. (1970) :** Réflexions sur une méthode d'étude des relations entre facteurs écologiques et caractéristiques des peuplements. Ann. Sci. Forest., 27 (3). 303-321.
- GAUDIN S. (1996).** Dendrométrie des peuplements. BTSA Gestion forestière module D42. Chatêaufarine. V 1.1. 64 p.
- GILBERT J.M., CHEVALIER R. (1994).** Relations milieu-production du pin Laricio. Etude de la croissance en hauteur. Informations techniques du CEMAGREF, n°96, note 2,8 p.
- GOREAUD F. (2000).** Apports de l'analyse de la structure spatiale en forêt tempérée à l'étude et la modélisation des peuplements complexes. Thèse. Doctorat, sciences forestière. INGREF, Nancy, 525 p. annexes.
- GOREAUD F., DE COLINGY F., COURBAUD B., DHOTE J.F ., DREYFUS Ph., PEROT T. (2005) .**La modélisation : un outil pour la gestion et l'aménagement en forêt : Vertigo – la revue en sciences de l'environnement, vol 6 N 2 : p1-3.
- GOUBI M. (2011).** Croissance et productivité du pin d'Alep dans quelques stations du massif des Aurès. Thèse Magistère. Université Batna. 66 p + annexes.
- GOURLET-FLEURY S. (1997).** Modélisation individuelle spatialement explicite de la dynamique d'un peuplement de forêt dense tropicale humide (dispositif de Paracou- Guyane française). Thèse Doctorat, Université Claude Bernard (Lyon I). 274 p., 2 volumes.
- GRECO J. (1967).** La défense des sols contre l'érosion. Ed. La maison rustique, 183 p.
- GUARDIA P. (1975).** Géodynamique de la marge alpine du continent africain d'après l'étude de l'Oranie Nord-Occidentale. (Relations structurales et paléogéographiques entre le Rif externe, le Tell et l'avant-pays atlasique). Thèse Doctorat. D'Etat : Université de Nice. 289 p. Carte h.-t.

- HADDAD A. (2008).** Caractéristiques anatomiques et papetières du bois de thuya de berbérie. Thèse de doctorat .Uni. Tlemcen. 140 p+ annexes.
- HADJADJ-AOUAL S. (1988).** Analyse phytoécologique du thuya de Berbérie en Oranie. Thèse. Magistère. Univ. Oran. 150 p
- HADJADJ-AOUL S. (1991).** Les peuplements de *Tetraclinis articulata* sur le littoral d'Oran (Algérie). *Écologia mediterranea*. XVII, 63-78.
- HADJADJ-AOUL S. (1995).** Les peuplements du thuya de berbérie (*Tetraclinis articulata*, Vahl, Master) en Algérie : phytoécologie, Syntaxonomie et potentialités sylvicoles. Thèse Doc. D'Etat : Université Aix-Marseille III. 159 p. + Annexes.
- HADJADJ-AOUL S. (1999).** Les peuplements du thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*, (Vahl) Masters) en Algérie : phytoécologie, syntaxonomie, potentialités sylvicoles. Thèse de doctorat en Biologie végétale.Univ-Es Senia-Oran.300 p.
- HADJADJ-AOUL S., CHOUIEB M., LOISEL R., (2009).** Effet des facteurs environnementaux sur les premiers stades de la régénération naturelle de *Tetraclinis articulata* Vahl Master en Oranie. *Ecologia mediterranea*, vol. 35: 19-31.
- HAJIB S., SBAY H., AAFI A., SAIDI S. (2013).** Etat des Ressources Génétiques Forestières : le royaume du Maroc. Rapport National.95 p.
- HALIMI A. (1980).** L'Atlas Blidéen. Climat et étages végétaux OPU. 484 P
- HAMILTON G.J., CHRISTIE J.M. (1971).** Forest management tables (metric).Her Majesty's Stationery Office, London.
- H.C.E.F.L.C.D. (2013).** Etat des ressources génétiques forestières. Rapport national. Projet TCP/RAB/3303-BABY 2. Maroc. 38 p.
- HERVE J.C., DHOTE J.F., DUPOUEY J.L. (2000).** Evolution de la vitesse de croissance en hauteur dominante au cours du XX^e siècle dans les hêtraies régulières du Nord-est. Rapport de convention ECOFOR/INRA 99.38, composante 4, pp. 1-33.
- HOULLIER F., BOUCHON J., BIROT Y. (1991).** Modélisation de la dynamique des peuplements forestiers: Etat et perspectives. *Revue forestière française*, XLIII (2), pp. 87-107.
- IONESCO T., SAUVAGE Ch. (1969).** Fichier des espèces climax. Al Awamia. 32. pp. 105-124.
- KAZI TANI L.M. (1996).** Esquisse pédologique des zones à vocation forestière (monts des Traras et monts de Tlemcen). Mémoire, Ingénieur. Inst.For.Univ.Abou bakr Belkaid, Tlemcen. 68 p.

- KHALDI F. (2010).** Typologie des peuplements de Thuya de Barbarie dans les monts de Trara : le cas de la tétraclinaies de Beni-Oursous. Mémoire d'Ingénieur, 80 p.
- KHATABI A. (1997).** Filière bois au Maroc : Production forestière, exploitation et valorisation. Terre et Vie .N°29.
- KHERCHOUCHE D. (2003).** Typologie écologique et phytosociologique des stations et croissance des peuplements de pin d'Alep (*pinus halepensis Mill*) Dans le massif des Béni-Imloul (Aurès). Thèse. Magistère. Univ. Batna. 87 pages + annexes.
- LANIER L. (1986).** Précis de sylviculture. ENGREF, Nancy, 468 p.
- LAPIE G. et MAIGE A. (1914).** Flore forestière de l'Algérie. Ed. ORLMAC. Paris 357 p.
- LAPPI J., BAILEY R.L. (1988).** A height prediction model with random stand and tree parameters: An alternative to traditional site-index methods. Forest Science, 34 (4), 907-927.
- LE GOFF N. (1982).** Productivité du frêne en région Nord-Picardie. A. - Courbes de croissance en hauteur. Ann. Sci. For., 39, 259-288
- LE GOFF N., LEVY J. (1984).** Productivité du frêne (*Fraxinus excelsor L*) en région Nord-Picardie. B. Étude des relations entre la productivité et les conditions de milieu. Ann. Sci. For 41, 135-170
- LEMOINE B. (1969).** Le pin maritime dans les landes de Gasconne: Etude des relations d'allométrie concernant le volume des peuplements. Ann. Sci. Forest. 26 (4). 445-473. 1982
- LE HOUEROU H.N., CLAUDIN J., POUGET M., (1977).** Etude bioclimatique des steppes Algériennes avec une carte bioclimatique au 1/1000.000. Bull. Soc. Hist. Afr. Nord. pp : 36-40
- LE HOUEROU H.N. (1995).** Bioclimatologie et Biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertisation, Options méditerranéennes, série B : recherches et études pp 1-396.
- LEJEUNE P., VERRUE V. (2002) :** Les inventaires par échantillonnage en futaie feuillue alternative aux inventaires complets. Note technique forestière de Gembloux n° 8, 10 p.
- LETREUCH BELLAROUCI N. (1991).** Les reboisements en Algérie et leur perspective d'avenir. Vol. I. O.P.U, Alger. 294 p
- LETREUCH BELAROUSSI N. (1995).** Réflexion autour du développement forestier : les zones à potentiel de production, les objectifs. O.P.U. Alger. 5 p.
- LETREUCH BELLAROUCI N. (1998).** Dendrométrie, méthodes d'estimation de la productivité stationnelle. O.P.U. p .7.

- LETREUCH-BELAROCUI A. (2009).** Caractérisations structurales des subéraies du parc national de Tlemcen, régénération naturelle et gestion durable. Thèse de doctorat en sciences. Univ. Abou Bakr Belkaid. Tlemcen. 224 p. + Annexes.
- MAATOUG M. (2003).** Effets des facteurs stationnels sur les propriétés physiques, mécaniques et papetières du bois du thuya de Maghreb (*Tetraclinis articulata VAHL* Master (Algérie occidentale). Thèse de Doctorat D'état en Ecologie végétale et foresterie. Université Djilali Liabès. Sidi Bel Abbès, 140 p.
- MAIRE R. (1926).** Principaux groupements de végétaux d'Algérie. Station centrale de recherche en Ecologie forestière CNREF., I.N.R.A. d'Algérie. 7 p.
- MAIRE R. (1952).** Flore de l'Afrique du nord. Tome XXXIII., Vol I, Edit. Le chevalier, Paris. 366 p
- MASSANT J.Y. (2010).** Dendrométrie. Chapitre V. Caractérisation et mesure des peuplements réguliers. Lycée forestier. PP 1-25.
- MASSENET J-Y. (2012).** Dendrométrie. Chapitre IX. Productivité des peuplements réguliers et tables de production. Lycée forestier. PP 1-21.
- MEDAIL F. QUEZEL P. (1997).** Hot-Spots analysis for conservation of plant biodiversity in the Mediterranean Basin. Ann. Missouri Bot. Gard. 84: 112-127.
- MEDAIL F. QUEZEL P. (2003).** Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen .Typologie des forêts méditerranéennes : 125-128.
- MEDAIL F., DIADEMA K. (2006).** Biodiversité végétale méditerranéenne. Annales de géographie. PP 618-640.
- MEDDOUR R. (2010).** Bioclimatologie, phytogéographie et phytosociologie en Algérie. Exemple des groupements forestiers et preforestiers de la Kabylie Djurdjurenne. Thèse. Doctorat. Univ. MMTO. 461 P.
- MEDJAHDI B. (2001).** Réponse de la végétation du littoral des monts des Trara (Ouest algérien) aux différents facteurs de dégradation. Mémoire. Magistère : Université de Tlemcen. 107 p. + Annexes
- MEDJAHDI B., IBN TATTOU M., BARKET DJ., BENABDELLI KH. (2009).** La flore vasculaire des monts des Trara (Nord Ouest algérien). Acta Botanica malacitana. 34 : 1-18.
- MEDJAHDI B. (2010).** Réponse de la végétation du littoral oranais aux perturbations : cas des monts des Trara (Nord-ouest de l'Algérie). Thèse. Doctorat : Université de Tlemcen. 266 p. + Annexes
- MEKKIOUI A. (1997).** Etude de la faune Orthoptérologique de deux stations dans la région de Hafir (Monts de Tlemcen) et mise en évidence d'*Ampelodesma mauritanica*

(espèce pâturée) dans les fécès de différentes espèces de Cœlifères. Thèse. Magistère. Ecol. I.S.N. Univ. Abou bekr Belkaid. Tlemcen. 129 p.

MELLOULI M.S. (2007). Politique forestière nationale et stratégie d'aménagement et de développement durable des ressources forestières et alfatières. Alger, 100 p

MESLI BESTAOUI Kh. (2009). Contribution à une étude écologique et dynamique de la végétation des Monts de Tlemcen par une approche cartographique Thèse. Coctorat. Ecologie végétale. Univ. Abou Bakr Belkaid .Tlemcen. 193 p + annexes.

MEZIANE H. 2004. Contribution à l'étude des psammophiles de la région de Tlemcen. Thèse. Magistère. Ecologie végétale. Univ. Abou Bakr Belkaid .Tlemcen. 146 p

M'HIRIT O. (1982). Etude écologique et forestière des Cédraies du Rif marocain. Ann. Rech. Forest. Maroc, 22, 1-502.

MHIRIT O., BLEROT Ph. (1999). Le grand livre de la forêt marocaine. Ed. Margada.280 p.

MIGLIORETTI F. (1987). Contribution à l'étude de la production des taillis de chêne vert en forêt de la gardiole de Rians (Var) Ann. Sci., 44 (2), pp. 227-242.

MILOUDI A. (1996). La régénération du Thuya de Berbérie (*Tetraclinis articulata*), dans la forêt de Fergoug (Maroc). Thèse de magister. Inst. Nat. Agr. El Harrach. 150 p.

MITALI M. (1982). Contribution à l'étude du comportement et de la productivité de *Tetraclinis articulata* (VAHL) Masters dans la forêt des Ida - 0 - Guelloul - Mémoire 3ème Cycle. Institut Agronomique et Vétérinaire HASSAN II - Rabat 121p.

MULLENBACH P. (2001). Reboisement d'altitude. Ed. Quae. 335 p.

OULAHACI F. (2010). Sylviculture et conduite des peuplements de *Tetraclinis articulata* en Oranie. Mémoire Ingénieur en Foresterie. Université de Tlemcen 91 p.

OTMANI S. (2009). Caractérisation Anthropogénétique de la population de Honaine dans l'Ouest Algérien. Analyse comparative du polymorphisme des groupes sanguins (ABO, Rh, MNSs, Duffy) et des dermatoglyphes à l'échelle de la Méditerranée. Thèse. Magistère. Univ. Abou Bakr Belkaid. Tlemcen. 144 p.

OTTO H.J. (1997). Les forêts de basse saxe en Allemagne du nord : un passé difficile commande une gestion nouvelle, programme gouvernemental, principe d'une sylviculture proche de la nature. Revue forestière française. 49 p.

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

- OUADAH F. (2009).** Action anthropique et composition floristique dans la région de Honaine (Wilaya de Tlemcen). Mémoire ingénieur d'état. Univ Abou Bakr Belkaid Tlemcen. P 122.
- PARDE J. (1957).** La productivité des forêts de pin d'Alep en France. Ann. E.N.E.F de la Stat. Recherche. Expérimentale. 15 (2), 367-414.
- PARDE J. (1967).** Réflexion sur la productivité des forêts françaises. Centre national de Recherches forestières, Nancy, 477-485.
- PARDE J et BOUCHON J. (1988).** Dendrométrie. 2^{ème} édition Ecole national du génie rural des eaux et forêts. 328 p.
- PAUWELS D. (2003).** Conception d'un système d'aide à la de décision pour le choix d'un scénario sylvicole : Application aux peuplements de mélèze en Région wallonne. Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux. 262 p.
- PAUWELS D et RONDEUX J. (2002).** Tarifs de cubage pour les petits bois de mélèze (*Larix sp*) en Ardenne belge. Les cahiers forestiers de Gembloux n^o 23, 11 p.
- P.D.A.U. (2005).** Plan Directeur d'Aménagement en Urbanisme de Tlemcen .Rapport
- PEREVOLOTSKY A et SELIGMAN N.G. (1998).** Degradation of Mediterranean rangeland ecosystems bay grazing: inversion of paradigm. Biosciences 48 : 1007-1017
- POLUNIN N. (1967).** Eléments de géographie botanique. Gauthier- Villars. Paris. 532 p.
- POMMERENING A. (2006).** Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. Forest Ecology and Management 224 (3), 266-277.
- PONS A. (1984).** Les changements de la végétation de la région méditerranéenne durant le Pliocène et le Quaternaire en relation avec l'histoire du climat et de l'action de l'homme. Webbia 38 : 427-439.
- POUGET M. (1980).** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. Ed. O.R.S.T.O.M., Paris, 555 p. texte + annexes.
- QUEZEL P., SANTA S. (1962-1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris : Ed. C.N.R.S., 2 Vol, 1170 p.
- QUEZEL P. (1976).** Les forêts du pourtour méditerranéen : Ecologie, conservation et aménagement. UNESCO. Note technique du MAB, 2 : 9-33.
- QUÉZEL P. (1980).** Biogéographie et écologie des conifères sur le pourtour méditerranéen. In Pesson : Actualité d'écologie forestière. Bordas Edit, Paris : 205 - 256.
- QUEZEL P. (2000).** Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb Méditerranéen. Ibis Presse. Edit. Paris, 117 p.

- RABHI K. (2011).** Ajustement de modèles hauteur – circonférence – âge pour le chêne zéen (*Quercus canariensis Willd.*) dans la forêt d'Akfadou (Tizi ouzou); effet de la densité et de la station. Thèse. Magistère. Univ. Abou Bakr Belkaid. Tlemcen. 66 p + annexes.
- RIKLI M. (1943).** Das Pflanzenkleid der Mittelmeerlander. Huber Berne, 1 – 418
- RONDEUX J. (1977).** RONDEUX, J., 1977. Estimation de la productivité forestière: Principe et méthodes. Annales de Gembloux, 83: 5-17.
- RONDEUX J. (1993).** La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux. Belgique. 521 p.
- RONDEUX J. (1999).** La mesure des arbres et des peuplements forestiers. Les presses agronomiques de Gembloux. Edition TEC 0 DDC. 511 p.
- ROULLET B. (1974).** Etudes quantitatives d'une forêt dense humide sempervirente de la Guyane vénézuélienne. Thèse Fac. Sc. Univ. TOULOUSE. CNRS2969. 404 pp+ Annexes.
- ROUSSEL L. (1983).** Modèle de croissance : Exemple de modélisation en Sylviculture. Forêt privée, n°151, 10 p.
- RUELLAN A. (1984).** Les sols calcaires : les principaux travaux des pédologues français. Livre jubilaire de l'A.F.E.S. (Association Française pour l'Etude des Sols). PP 111-121.
- SARI DJ. (1977). L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis. S.N.E.D. Alger. 624 p.
- SELADJI A. (2004).** Aspect floristique et propositions d'aménagement au niveau de la région de Honaine (Nord de Tlemcen – Oranie). Thèse. Magistère. Univ. Abou Bakr Belkaid. Tlemcen. P : 9.
- SELTZER P. (1946).** Le climat de l'Algérie. Inst. Météorologie. Et Phys. Du Globe. Univ. Alger. 219 p + Carte h.t.
- SGHAIER T., PALM R (2002).** Répartition des arbres et des volumes par classes de grosseurs dans les peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) en Tunisie Ann. For. Sci .n °59 - 293-300.
- SIMONE Y. (1997).** ESSAOUIRA : Naissance d'une ville et ces impacts sur le milieu naturel. Travaux de la Société d'Ecologie Humaine. 1997. pp.115-125
- SOULERES G. (1975).** Classes de fertilité et production des forêts tunisiennes de pin d'Alep. Rev. For. Fr., XXVII (1), 41-49.
- SPELLMANN H. (1992).** Concepts for mixed and studies – proceeding fro; the IUFRO conference, held in Berlin – Eberswaldem10 p.
- STITI B., HATEM C., MARIOLA S.G., ISABEL C., BELGACEM H. (2008).** Modèles de croissance en hauteur et en diamètre des chênes-lièges dans la forêt d'Ain Snoussi. Acte des Journées Scientifiques de l'INRGREF. Tunisie. 20 p.

- STOYAN D., PENTTINEN A. (2000).** Recent applications of point process methods in forests statistics. *Statistical Sci.* 15 (1): 61-78
- TERRAS M. (2008).** Dynamique phytoécologique du thuya de Berbérie face à l'incendie. *Revue forêt méditerranéenne* t.XXIX, n°1 : 33-40.
- TERRAS M. (2010).** Typologie, cartographie des stations forestières et modélisations des peuplements forestiers. Cas des massifs forestiers de la wilaya de Saida (Algérie), Thèse Doctorat. Univ Tlemcen, 205 p + Annexes
- THAVAUD 1979.** Étude dendrométrique d'un cèdre échantillon dans le massif de Belezma .rapport de stage école d'agriculture de Poizy chovand. p 30.
- THIBAUT A. CLAESSENS H et RONDEUX J. (2002).** Etablissement de courbes de fertilité pour les peuplements de frêne (*Fraxinus Exelsior L.*) En région limono-calcaire du Condroz et de l'Entrée Sambre-Et- Meuse. *Les cahiers forestiers de Gembloux*, n°7.18 p.
- THINTTOIN R. (1960).** Les Traras étude d'une région musulmane d'Algérie. *Bull. Soc. Géogr. Arch. Oran.* T. LXXIII. pp : 217 – 309.
- TIMBAL J. (1973).** La végétation de la forêt de Sainte-Hélène (Vosges). Exemple d'analyse floristico-statistique de phytocénoses forestières. *Vegetatio*, 27 (4-6), 267-321.
- TIMBAL J., TURREL M., DUCREY M. (1985).** Les facteurs de productivité du pin noir d'Autriche (*Pinus nigra Arnold. ssp. nigricans.Hots. novak*). Dans les Alpes de sud. *Ann. Sci. Forest.* 42 (3). 265-282.
- THOMPSON J.D. (2005).** Plant evolution in the Mediterranean. Oxford University Press. Oxford.
- TOTH J et TURREL M. (1981).** Croissance radiale et longitudinale de quelques résineux en fonction de l'alimentation en eau. Centre de recherches forestières. Station de sylviculture. Méditerranéenne. Avignon. France. 17 p.
- TOTH J. (1987).** Effets des facteurs d'environnement sur l'accroissement du cèdre de l'Atlas. *Bull. Soc et Sci. Nat. Vaucluse.* 71-76.
- UICN. (2011).** Le Thuya de Berbérie « Découvre la biodiversité du Parc National d'Al Hoceima », UICN, Gland, Suisse et Malaga, Espagne, 16 p.
- VENNETIER M., RIPERT C., BROCHIRRO F., CYRILLE B.K. R., CHANDIOUX O., ETEVE R. (2010).** Evaluation de la productivité du pin d'Alep en région méditerranéenne française. *Rev. For. Fr.* LXII - 5- 503-524.
- WALTER H., LIETH H. (1960).** Klimadiagram weltathas. jenafishar Iena. *Ecologia médit.* Tome XVIII 1992. Univ. Droit, d'économie et des sciences d'Asie- Marseille III.

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

ZAIDI S. (1988). Contribution à l'étude des peuplements de thuya de berbérie (*Tetraclinis articulata VAHL Master*) dans la région de Mostaganem. Mémoire. Ing. Inst. Agro. Alger. 125 p.

Résumé : Etude de la productivité du Thuya de berbérie (*Tetraclinis articulata Vahl Master*) dans l'ouest algérien dans la perspective de développement durable

Notre recherche sur la productivité et la modélisation de *Tetraclinis articulata, Vahl, Master* dans l'ouest algérien, c'est portée sur des peuplements naturels situés respectivement dans les Monts des Trara et les Monts de Tlemcen.

Dans le but d'évaluer les potentialités réelles qu'offre cette essence en matière d'aménagement, nous avons installé 50 placettes circulaires de 5 ares de surface dans des peuplements aussi réguliers que possibles. Nous avons essayé d'une part d'apprécier la productivité en fonction des facteurs du milieu et d'autre part d'utiliser la hauteur dominante comme un facteur indicateur de la fertilité par l'intermédiaire du modèle de JOHNSON- SCHUMACHER qui a donné lieu à un meilleur ajustement.

Les résultats obtenus montrent l'existence d'un peuplement jeune de structure plus ou moins régulière avec une hauteur dominante moyenne de 5 m. Les volumes calculés (9.44 m³/ha à HONAINA et 7.81 m³/ha à AIN GHORABA) reflètent la faible productivité produite par l'essence due à son état de dégradation très avancé.

L'application du modèle de JOHNSON- SCHUMACHER a permis d'étager la tétraclinaie en 3 classes de fertilités à l'âge de référence de 40 ans (4 m, 6 m et 8 m à Honaine et 3.6 m, 4.6 m et 5.6 m à Ain Ghoraba). La comparaison des résultats obtenus avec ceux établis sur la même essence au Maroc et en Tunisie, montre une discordance et confirme que l'allure de la croissance en hauteur du thuya dépend beaucoup plus des conditions du milieu que du modèle d'ajustement utilisé.

Mots clés : *Tetraclinis articulata*, Algérie occidentale, productivité, facteur de milieu, hauteur dominante, fertilité, modèle de JOHNSON- SCHUMACHER, perturbations.

Abstract: Study of thuya productivity (*Tetraclinis articulata Vahl Master*) in western Algeria in the perspective of sustainable development

Our research about productivity and modeling of *Tetraclinis articulata, Vahl, Master* in western Algeria is carried in natural stands located respectively in the Trara and Tlemcen Mountains.

In order to assess the real potential offered by this species in terms of management, we have installed fifty (50) circular plots of five (05) ares in settlements as regular as possible.

We have tried firstly to assess the productivity of the species according to the environmental factors, and also to use the dominant height as an indicator of fertility via JOHNSON SCHUMACHER model which has given the best adjustment.

The results obtained show the existence of a young settlement of more or less regular structure with an average dominant height of 5 m. The calculated volumes (9.44 m³ / ha at HONAINA and 7.81 m³ / ha at AIN GHORABA) reflect the low productivity produced by this species due to its very advanced state of degradation.

The application of the JOHNSON-SCHUMACHER model allowed to stage the thuya fortes into three classes of fertility at the reference age of 40 years (4 m, 6 m and 8 m at Honaine and 3.6 m, 4.6 m and 5.6 m In Ain Ghoraba). The comparison of the results obtained with those established on the same species in Morocco and Tunisia shows an unconformity and confirms that the pace of height growth of thuya depends much more on the environmental conditions than on the adjustment model used.

Mots clés : *Tetraclinis articulata*, western Algeria, productivity, environmental factors, dominant height, fertility, de JOHNSON- SCHUMACHER model, disruptions.

ملخص: دراسة إنتاجية العرعار البربري في الغرب الجزائري من منظور التنمية المستدامة

أبحاثنا على الإنتاجية والنمذجة للعرعار البربري في الغرب الجزائري تركزت على تجمعات غابية طبيعية تقع على التوالي في جبال ترارا و جبال تلمسان.

من أجل تقييم الإمكانات الحقيقية التي يوفرها هذا النوع في ما يخص التهيئة الغابية قمنا بوضع 50 قطعة دائرية بمساحة 5 أَر في تجمعات غابية منتظمة قدر الإمكان. حاولنا من جهة تقييم الإنتاجية اعتمادا على العوامل البيئية و من جهة أخرى استخدام الطول السائد كمؤشر على عامل الخصوبة من خلال نموذج JOHNSON SCHUMACHER الذي أعطى أفضل توافق.

النتائج المحصل عليها أظهرت وجود تجمع غابي فتي بنيته منتظمة إلى حد ما حيث يبلغ متوسط طوله السائد 5 متر. الأحجام المحسوبة (9.44 م³/هكتار في هنين و 7.81 م³/هكتار في عين غرابية) تعكس ضعف إنتاجية هذا النوع بسبب حالته الجد متدهورة.

سمح تطبيق نموذج JOHNSON SCHUMACHER بتدريج غابة العرعار إلى ثلاث أقسام خصوبة عند السن المرجعي 40 سنة (4 م³ 6 م³ 8 م³ في هنين و 3.6 م³ 4.6 م³ و 5.6 م³ في عين غرابية).

مقارنة النتائج المحصل عليها مع تلك التي أنجزت على نفس النوع في المغرب وتونس أظهرت عدم تطابق وأكدت أن وتيرة نمو طول العرعار يرتكز أكثر على الظروف البيئية منه على نموذج التوافق المستخدم.

كلمات مفتاحية:

العرعار البربري، الغرب الجزائري، الإنتاجية، العوامل البيئية، الطول السائد، الخصوبة، نموذج JOHNSON SCHUMACHER، الاضطرابات