



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE

LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BATNA 1

INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET DES SCIENCES

AGRONOMIQUES

Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de magister en

Sciences Agronomiques

Option : Sciences Forestières

Présenté par : **BOUTABA Halima**

Thème

**Contribution à l'étude typologique et cartographique des
cédraies dans quelques monts du CHELIA (W.
Khenchela) : corrélation dendrométrique, pédologique et
éco-physiologique (croissance, nutrition N.P.K)**

Devant le jury :

Président :	Dr Y. BEGHAMI	MC (A)	Université de Batna
Promoteur :	Dr A. ZOUAOUI	MC (A)	Université de Batna
Examineurs :	Dr H. MALKI	MC (A)	Université de Batna
	Dr K. RABHI	MC (A)	Université de Batna
Invité :	Dr H. MESSAADIA	MC (B)	Université de Batna

Année universitaire: 2017-2018

REMERCIEMENTS

A l'issue de l'élaboration de ce mémoire, je suis heureuse de me plier à cette aimable tradition, celle de remercier toutes les personnes, qui, de près ou de loin, m'ont facilité la tâche et ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Mais avant, je remercie Dieu le tout-puissant pour m'avoir donné le courage, la volonté et la patience, pour mener à bien ce travail

*Je remercie tout particulièrement mes promoteurs **Mr MESSAADIA.H** maître de conférences en biologie des sols et en pédologie forestière et **Mr ZOUAOUI. A** maître de conférences en pédologie forestière pour m'avoir guidée au cours de toutes les phases de ce travail et pour avoir fourni beaucoup d'efforts, d'avoir fait preuve de patience et de compétences ; leurs qualités pédagogiques remarquables m'ont permis de profiter de leurs connaissances et de leurs méthodes.*

*Je remercie, aussi **Mr BEGHAMI.Y** maître de conférences à l'institut des sciences vétérinaires et sciences agronomiques, Université de Batna 1, pour le grand honneur qu'il me fait en acceptant de présider le jury, et pour les efforts et les sacrifices qu'il a consentis en tant qu'enseignant. Je lui souhaite la réussite dans sa nouvelle fonction de directeur de l'institut des sciences vétérinaires et agronomiques.*

*Je remercie vivement **Mr MALKI.H** pour ses encouragements, son soutien, son dévouement dans sa tâche d'enseignant et sa grande sympathie.*

*Mes remerciements s'adressent aussi à **Mr RABHI.K** pour sa gentillesse, ses encouragements et sa disponibilité à tout instant.*

*Et à toutes les autres personnes qui m'ont apporté une aide sous n'importe quelle forme au cours de la réalisation de ce travail en particulier **Mr BENSID.Z, Mr CHAFAI, Mr NEZAR KEBAILI, Mr KHEMMARI, Mr HASSAIN.***

DEDICACE

*Je dédie ce travail à toutes les personnes qui m'ont permis de
le réaliser*

*A mes chers parents, ma mère et mon père, c'est grâce à eux que je
suis arrivée à ce stade. Ils n'ont jamais cessé de m'encourager et de
me motiver. Si je dois consacrer toute ma vie pour eux je ne peux
rendre ce qu'ils m'ont fait.*

A mon mari Abdelhamid Tahar

*A ma chère sœur Houda et son mari mouloud et leur petit fils
Mohamed Moadh*

A mes frères Mohamed, Aymen et Taki

A ma tante Zohra

A ma belle-famille Abdelhamid

A mes chères Amies, Cousines, collègues

HALIMA

Table des matières

Introduction générale	11
-----------------------------	----

Première partie : Bibliographie

Chapitre I : Caractéristiques générales du Cèdre

I. Caractéristiques généraux et écologie du cèdre.....	14
1. Caractéristiques généraux.....	14
1.1. Historique	14
1.2. Systématique	14
1.3. Caractères botaniques	15
2. Ecologie du Cèdre	15
2.1. Répartition du Cèdre de l'atlas dans le monde.....	15
2.1.1 Le cèdre de l'atlas dans son aire naturelle.....	15
2.1.2. Le cèdre de l'atlas dans aire d'introduction	17
2.2. Bioclimat du cèdre.....	17
2.3. Le substrat.....	18
2.4. Exposition.....	19
2.5. Altitude.....	19
II. Caractéristiques physiologiques et éco-physiologiques.....	20
1. Physiologie du cèdre de l'atlas.....	20
1.1. La respiration.....	20
1.2. Photosynthèse.....	20
1.3. Nutrition en eau et en éléments minéraux.....	21
1.4. La sécrétion.....	21
1.5. Croissance et développement.....	21
1.6. Reproduction.....	22
2. Ecophysiologie du cèdre de l'atlas.....	22
2.1. Le stress hydrique	22

Table des matières

2.2. Régénération	23
2.3. Productivité forestière	25
2.4. Dépérissement	25
Chapitre II : Typologie des stations forestières	
Avant-propos.....	29
I. Notion de la station.....	29
1. Définition et caractères généraux.....	29
1.1. Définition.....	29
1.2. Analyse de la notion de station.....	29
1.3. Notion de groupes de stations.....	30
2. Aspects pratiques de la notion de station.....	32
2.1. Conception forestière.....	32
2.2. Dynamique des stations et action humaine.....	32
3. Types de stations forestières.....	33
3.1. Station unitaire.....	33
3.2. Station complexe.....	33
4. Classification des stations forestières.....	33
4.1. Classification des stations selon la nature des peuplements.....	33
4.1.1. Concept de peuplement pur.....	33
4.1.2. Concept de peuplement mixte.....	33
4.2. Classification des stations selon leur potentiel productif.....	33
4.2.1. Station à potentiel productif élevé.....	34
4.2.2. Station à potentiel productif moyen.....	34
4.2.3. Station à potentiel productif faible.....	34
II. Typologie des stations forestières.....	34
1. Définition.....	34
2. Eléments d'une typologie.....	35

Table des matières

3. Principe d'élaboration de la typologie.....	35
4. Typologie des peuplements.....	36
5. Stations forestières et choix sylvicoles.....	37
6. Stations et productivité forestière.....	37
Chapitre 3 : Cartographie des stations forestières	
Avant propos.....	40
I. Les méthodes classiques de cartographie des stations forestières.....	40
1. Les méthodes systématiques.....	40
2. Les méthodes par transect.....	41
3. Les méthodes par zonage préalable.....	41
II. Les méthodes modernes de cartographie des stations forestières.....	42
1. Echelle et facteurs cartographiés.....	42
2. le système d'information géographique et cartographie des stations.....	42
2.1. Le SIG en théorie	43
2.2. Les composantes d'un SIG.....	43
2.3. Modes de représentation des données.....	44
2.3.1. Le mode image (structure Raster).....	44
2.3.2. Le mode objet (structure vectorielle).....	44
3. Modèle numérique de terrain (MNT).....	45
3.1. Concept de modèle numérique de terrain (MNT).....	45
3.2. Caractéristiques des MNT.....	45

Deuxième partie : Etude expérimentale

Chapitre 1 : Présentation de la zone d'étude

Avant propos.....	48
I. Situation et caractéristiques physiques.....	48

Table des matières

1 Situation.....	48
2. Caractéristiques topographiques.....	49
3. Caractéristiques lithologiques et morphologiques.....	49
II. Caractéristiques pédologiques.....	50
1. Les principaux facteurs de la pédogenèse.....	50
1.1. Généralité.....	50
1.2. Le climat.....	50
1.3. La végétation.....	51
1.4. La roche mère.....	51
1.5. La topographie.....	52
2. Les processus morphogénétiques.....	52
2.1. Généralité.....	52
2.2. Le décapage en nappe.....	52
2.3. L'éboulement	52
2.4 L'érosion ravinante	53
3. Les processus pédo-génétiques.....	53
3.1. Généralité.....	53
3.2. La fersialitisation.....	53
3.3. La brunification	54
3.4. Le lessivage des sols.....	54
3.5. La carbonatation	54
4. Les principaux types de sol.....	55
4.1. Les sols fersialitiques brunifiés	55
4.2. Les lithosols.....	55
4.3. Des sols colluviaux.....	55
4.4. Des sols brun calcaires	55
III. Caractéristiques floristiques.....	55

Table des matières

1. Les espèces indicatrices de la zone d'étude.....	55
2. Etagement de la végétation	57
IV. Caractéristiques climatiques.....	57
1. Les précipitations.....	58
2. Les températures.....	59
3. Autres facteurs climatiques.....	61
4. Détermination des indices climatiques.....	62
4.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	62
4.2. Climagramme d'EMBERGER : STEWART (1969).....	63
Chapitre II : Matériel et méthodes d'étude	
I. Démarche et méthodes utilisées.....	67
1. Points généraux de la démarche d'étude.....	67
2. Méthodologie expérimentale.....	67
2.1. Choix des stations d'étude.....	67
2.2. Choix du système d'échantillonnage et installation des placettes.....	68
2.3. Détermination de la nature des mesures à effectuer aux sites d'étude.....	68
II. Analyses physico-chimiques et calcul des paramètres dendrométriques.....	69
2.1. Analyses physico- chimiques et foliaires des échantillons du sol et aiguilles prélevées.....	69
2.2. Calcul des paramètres dendrométriques	69
III. Méthodes SIG et approches statistiques.....	70
1. Méthodes statistiques d'interprétation des résultats.....	70
2. Méthode SIG et cartographie des stations forestières.....	71
Chapitre 3 : Résultats et discussions	
I. Inventaire et typologie des stations.....	73
1. Station 1 : La cédraie mono spécifique du versant nord entre 1700 et 1900 m d'altitude...74	
1.1. Caractéristiques stationnelles	74
1.2. Caractéristiques floristiques.....	74

Table des matières

1.3. Caractéristiques pédologiques.....	74
1.4. Caractéristiques dendrométriques.....	76
2. Station 2 : La cédraie mono spécifique du versant sud entre 1700 et 1900 m d'altitude...77	
3. Station 3 : La cédraie-chênaie du versant nord entre 1700 et 1900 m d'altitude.....	80
4. Station 4 : La cédraie mono spécifique du versant nord entre 1900 de 2100 m d'altitude..	83
II. Etude cartographique des stations forestières.....	86
1. Les différentes stations forestières	86
2. L'établissement de la carte.....	89
III. Corrélations entre les stations de cèdre et les caractéristiques pédologiques.....	90
1. Station de cèdre et granulométrie des sols	91
2. Station de cèdre et pH des sols	92
3. Station de cèdre et MO des sols.....	94
4. Station de cèdre et l'azote dans le sol.....	97
5. Station de cèdre et la CEC dans le sol.....	99
IV. Corrélation entre les stations de cèdre et les caractéristiques dendrométriques.....	101
1. Station de cèdre et diamètre moyen et hauteur moyenne	101
2. Station de cèdre et densité des peuplements.....	103
V. Corrélation entre les stations de cèdre et les caractéristiques éco-physiologique.....	104
1. Station et croissance des peuplements de cèdre.....	104
2. Station et nutrition des peuplements de cèdre.....	104
VI. Comparaison des volumes du bois entre les différentes stations d'étude	106
Conclusion et perspectives.....	110
Références bibliographiques	
Les des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Annexes	

Introduction

Introduction

Du fait de leur importance sur le plan écologique, floristique environnementale et économique, les cédraies ont fait l'objet de nombreuses études. Ainsi certains travaux ont porté sur l'écologie de cette espèce (Boudy, 1950 ; Abdessamed, 1981 ; Toth, 1987 ; Bentouati, 1994 ; Bakri et Haddan, 1999 ; Abdessamed.S, 2008 ; Beghammi, 2013) ; alors que d'autres investigations ont été par la suite entreprises pour décrire les caractéristiques pédologiques et pédo-biologiques de ces formations forestières (Halitim, 2006 ; Belloula.N, 2012), Ainsi, au plan de l'écophysologie des cédraies, d'autres études ont abordé les problématiques de la régénération et du dépérissement de cette essence et ont révélé une forte relation de cause à effet entre le réchauffement climatique, l'exposition, la densité de peuplement, la nature des substrats et cette régression écologique des peuplements forestiers (Nedjahi , 1988 ; Malki,1992 ; Nezzar , 2009 ; Beloula.S,2010 ; Gouaref, 2012)

Aussi, et dans le cadre du fonctionnement des cédraies, les études expérimentales de (Kadi ,2001 ; Bouzidi, 2008 ; Belgout, 2008) ont mis en relief l'influence du type de cédraie (Cédraie mono-spécifique, cédraie mixte) sur la biomasse, la croissance et la nutrition de jeunes plants de cèdre de l'Atlas.

Par ailleurs, la typologie des stations en vue de l'aménagement forestier a donné lieu à de nombreuses études (Delpéch, R., et al 1985 ; Becker, M., 1988 ; Brethes A., 1989 ; Joud Didier ,1989 ; Terras. M ,2011). Ceci leur permettait de définir une nouvelle conception de la gestion forestière basée sur la répartition des massifs forestiers en zones homogènes sur le plan écologique et l'utilisation des stations forestières comme des futures unités de gestion des écosystèmes forestiers.

Dans le contexte du Chéla, les études d'inventaires des peuplements et la cartographie à grande échelle de ces formations forestières n'ont pas donné lieu à de nombreuses études (Abdessamed. K, 2001 ; Beloula S, 2010 ; Gouaref, 2012). Ce massif serait-il alors constitué de stations unitaires bien individualisées de cèdre ou bien au contraire de stations complexes ce cèdre ? Quelle serait l'importance spatiale de ces différentes stations dans certains monts les plus peuplés de ce massif forestier ?

Si certains aspects du comportement des cédraies dépendent des facteurs écologiques notamment le climat et la topographie (Malki, 1992 ; Bentouati, 1993 ; Krouchi, 1995 ; Abdessamed.S, 2008), qu'en serait-il l'effet du type de cédraie sur les caractéristiques

dendrométriques des cèdres ? Y aurait-il un effet sur la croissance et la nutrition N.P.K ? S'il est bien établi que le comportement d'un peuplement dépend d'un ensemble d'interactions complexes entre les facteurs écologiques généraux et l'espèce forestière, quelles seraient alors dans le cadre du Chélias les interactions qui peuvent se manifester entre le type de cédraie et les caractéristiques pédologiques ? Le type de cédraie et les caractéristiques dendrométriques ? Le type de cédraie et la croissance et la nutrition NPK des peuplements de cèdre ?

Cette étude s'inscrit dans le cadre de ces différentes problématiques et vise à élucider les aspects suivants

- Caractéristiques typologiques des stations de cèdre.
- Approche cartographique des stations forestières (cédraies, cédraies-chénaies..)
- Influence des stations sur les caractéristiques pédologiques
- Action des stations sur les caractéristiques dendrométriques
- Effet des stations sur les caractéristiques éco-physiologiques
- Classement des stations selon leurs potentiels productifs

Partie

Bibliographique

Chapitre I :

Généralités sur le

cèdre

I. Caractères généraux et écologie du cèdre

1. Caractères généraux

1.1. Historique

D'après Gaussen(1967), le genre *Cedrus*, appartenant à la famille des pinacées, est considéré comme étant le plus ancien après le genre *Pinus*. Son existence remonte au tertiaire (fossiles dans le Miocène et le Pliocène), il occupait de vastes zones (de l'Himalaya à l'Atlas marocain), où il a complètement disparu. Ainsi, selon Monet (1964) les Abiétacées ont laissé des vestiges reconnaissables dès le Jurassique dans les contrées boréales ; ensuite ils sont descendus progressivement vers nos régions pendant le Crétacé.

1.2. Systématique

Le cèdre de l'Atlas a pour noms berbères Begnoun ou Inguel et pour noms arabes Meddad ou Arz. Cette dernière appellation arabe viendrait du fait que les branches de l'espèce ploient sous le poids de la neige au lieu de se casser (Fazia, 2010, Emberger 1960) attribue au genre *cedrus* la systématique suivante :

- Embranchement des Spermaphytes.
- Sous – embranchement des Gymnospermes.
- Classe des Vectrices.
- Ordre des Coniférales
- Famille des Pinacées
- Sous-famille des Abiétées.
- Genre de *Cedrus*
- Espèce: *Cedrus atlantica* Manetti

La dénomination Cèdre recouvre quatre espèces qui occupent des surfaces inégales dans l'étage montagnard de la région méditerrané- himalayenne. (Aussenac et Guhl, 1990)

- Le cèdre de l'Atlas ou *Cedrus atlantica* Manetti au Maroc et en Algérie.

- Le cèdre du Liban ou Cedrus libani Barrel au Liban, en Syrie et en Turquie.
- Le cèdre de Chypre ou Cedrus brevifolia Henry A Chypre.
- Le cèdre de l'Himalaya ou Cedrus deodara Land en Asie: Afghanistan et l'Himalaya occidental (Aussenac, 1984)

1.3. Caractères botaniques

Essence au port majestueux pouvant atteindre 25 à 35 m de haut à l'âge adulte, le Cèdre de l'Atlas est capable de vivre plusieurs siècles. Il possède dans son jeune âge un port pyramidal, puis avec l'âge son port s'étale, lorsque les branches du sommet se couchent à l'horizontale pour former « la table » (Gausson, 1967). Les feuilles sont des aiguilles isolées persistantes (Boudy, 1952; Ledant, 1975; Toth, 1971, 1981). L'écorce, grise claire et lisse, à l'état juvénile est parsemée de crevasses sinueuses à l'état adulte (Toth, 1981). Les bourgeons sont petits, ovoïdes, globuleux de couleur beige claire ou brune. Le cèdre de l'Atlas est une essence monoïque avec des fleurs groupées en inflorescences de type chaton. Selon (Toth, 1978 a), Il est difficile de situer l'âge de floraison du cèdre de l'Atlas.

2. Ecologie de l'espèce

2.1. Répartition du cèdre de l'Atlas dans le monde

2.1.1 Le cèdre de l'Atlas dans son aire naturelle

Le cèdre de l'Atlas s'organise en sept blocs, en Afrique du Nord, dont quatre dans les montagnes marocaines et trois dans les montagnes algériennes: (Figure 1)

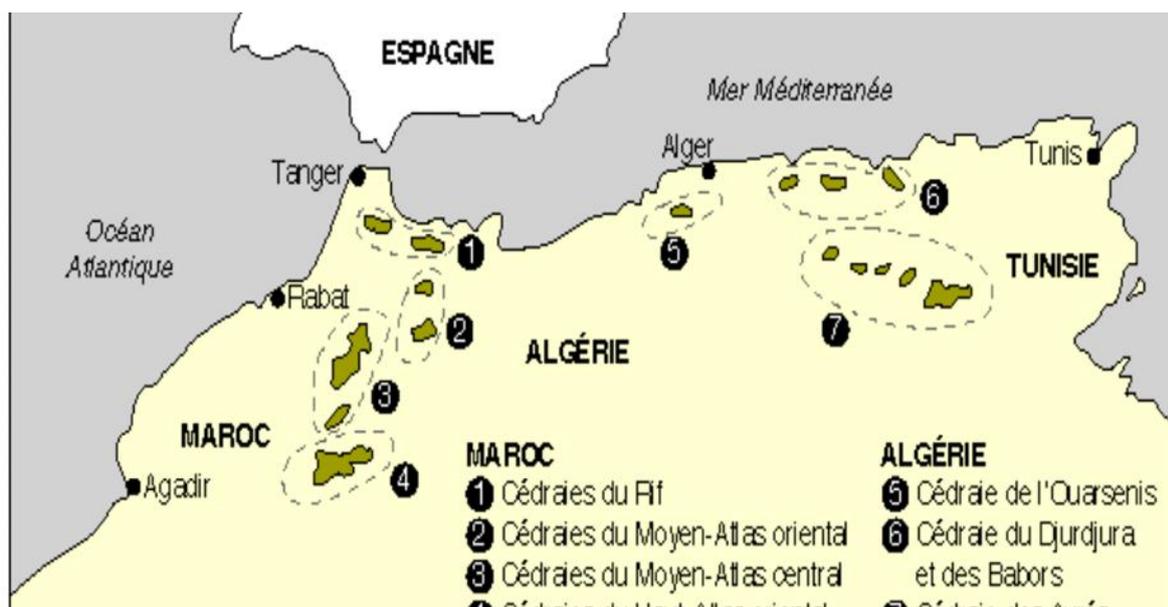


Fig. 1: Répartition actuelle du Cèdre de l'Atlas - Source : M'hirit (1993)

Les cédraies du Rif (ordre de 15 000 ha) sont rencontrées à partir de de 1500 m d'altitude, en mélange avec le sapin du Maroc (*Abies maroccana*) (Emberger, 1939; Ruiz Delatorre, 1956; Lecompte, 1969; M'hirit, 1982).

Les cédraies du Moyen-Atlas oriental (23000 ha) développés sur substrat dolomitique ou marno-calcaire (Peyre, 1979; Ziat, 1968), sont individualisées en îlots dans les massifs du Bou Iblane, Taffert, Tamtroucht au nord et Bou Naceur au Sud.

Les cédraies du Moyen-Atlas central constituent l'ensemble le plus important du cèdre de l'Atlas (ordre de 120 000 ha) (Emberger et Pujos, 1966; Peyre, 1979; Achhal et al., 1980).

Les Cédraies du Haut-Atlas oriental (26.000 ha) développées sur les versants nord de djebel Layachi et du djebel Masker (Quezel et al., 1987).

Les Cédraies de l'Atlas tellien individualisées au niveau du massif du Djurdjura (200 ha), des Babors (1.300 ha), de l'Ouarsenis (11.000 ha) et des Monts Blédéens (1.000 ha)

Les Cédraies de l'Atlas saharien constituent l'ensemble le plus important de la cédraie algérienne avec d'importants peuplements dans les monts des Aurès et du Belezma (17.000 ha), les monts du Hodna (8.000 ha) (Faurel et al., 1949; Abdessamed, 1981)

2.1.2. Le cèdre de l'Atlas sans son aire d'introduction

Le cèdre de l'Atlas est rencontré aussi dans d'autres pays où il a été implanté par l'homme au cours des derniers siècles, les principaux pays où il a été introduit sont :

* La France (introduit vers 1862), sur le flanc du Mont Ventoux. Depuis lors, la France est en tête des pays possédant des cédraies en dehors de l'aire naturelle de l'espèce. Aujourd'hui, le cèdre de l'Atlas est présent plus ou moins abondamment dans 25 départements de la partie méridionale du pays (Toth, 2005). Cette espèce couvre environ 20.000 ha de forêts avec un taux de boisement de plus ou moins 1.000 ha/an, son aire potentielle serait de 200 000 ha (Fabre, 1994). Les forestiers spécialisés estiment qu'il présente de fortes potentialités pour la reconstruction de la forêt méditerranéenne française.

* en Italie, le cèdre de l'Atlas est également utilisé comme espèce de reboisement. Son introduction remonte au 19ème siècle, période où il fut planté en Toscane. Depuis, les cèdres peuplent sur près de 1.000 ha (Michele et al, 2001).

* En Bulgarie, les premiers cèdres ont été plantés en 1876. Delkov et Grozev (1994) précisent qu'on peut les trouver dans divers endroits du pays.

* en Hongrie, Csaba M. (1994) relate la bonne tenue de *Cédrus atlantica* en Hongrie, avec par exemple des stations situées dans les montagnes au nord-est du Danube.

2.2. Bio-climat du cèdre

Le cèdre de l'Atlas pourrait être considéré comme une essence de climat de transition; on peut le trouver dans les climats froids et humides, et les climats chauds et secs (Aussenac, 1984). Son aire est associée au climat méditerranéen. Boudy (1950 et 1952), signale que le Cèdre est une essence sciaphile qui peut vivre entre -20 °C et +39 °C. Chez les jeunes plants la diminution de la température en dessous de -2 °C s'accompagne par une diminution de la photosynthèse. (Ducrey, 1981 in abdessamed.S).

En Algérie, les cédraies sèches des Aurès et du Hodna ne reçoivent qu'une tranche pluviométrique comprise entre 350 et 700mm/an. Celle du Djurdjura, des Babors, l'Ouarsenis et Chréa plus humides, recevant 800 à 1100mm/an (Derridj, 1990). Abourouh (1983) rapporte que l'étage humide (800 à 1200 mm/an) est par excellence la zone préférée du Cèdre de l'Atlas. Son optimum serait selon Aussenac (1984) un climat à hiver frais et a été sec.

L'irrégularité de la répartition des précipitations annuelles et mensuelles joue un rôle défavorable sur la régénération naturelle du Cèdre de l'Atlas; la sécheresse estivale accentue encore le phénomène.

L'aire de projection du cèdre de l'Atlas sur le climagramme d'Emberger, s'étale de la limite supérieure du semi-aride supérieur à variante froide ou très froid, jusqu'au per-humide à variante froide à très froide (M'hirit, 1982; Derridj, 1990).

2.3. Le substrat

Le substratum litho-géologique pourrait constituer également un facteur de répartition des cédraies. Parallèlement aux études réalisées sur le cèdre et confirmant par ce qui a été relevé et constaté sur le terrain lors de nos prospections nous noterons que le cèdre se développe sur plusieurs substrats tels que le calcaire (Boudy, 1950), sur des formations argileuses recouvertes d'éboulis, sur grès et sur dolomies ce qui est le cas par exemple des cédraies des Aurès et du Belezma. D'après Halitim (2006), ces deux derniers types de substratums donnent naissance à des sols légers dans lesquels les racines des jeunes cèdres peuvent pénétrer plus facilement.

Lepoutre (1964), met l'accent sur l'influence des facteurs édaphiques qui varient selon le climat; plus le climat est sec, plus l'influence du sol est grande

En Algérie comme au Maroc, le cèdre pousse sur des roches acides (granites, quartzites, schistes, grès siliceux) ou non acides (roches calcaires, marnes, dolomies, basalte grès calcaire) (Boudy 1950).

Il peut croître également sur les sols à pH acide que sur sols à pH basique (Alexandrian, 1992 in Belloumi, 2002).

Si le cèdre est indifférent à la nature chimique, il est cependant exigeant au point de vue qualité physique des sols: sols meubles, perméables, profonds, caillouteux...) (Toth, 1971). Au Maroc, l'analyse des aiguilles de cèdre a révélé des déficiences nutritionnelles en éléments nutritifs, l'apparition de ces déficiences chez les jeunes semis de cèdre constituera une contrainte majeure à la croissance et à la survie des plants

Malgré que nous avons noté la présence du cèdre sur substrat marneux au niveau de certains versants du Chélia, Rippert et Boisseau (1993), ont relevé l'impact défavorable que

peuvent avoir les marnes et les dolomies sur son bon développement. Les autres sols présentent des fertilités diverses en fonction des conditions de stationnements.

2.4. Exposition

Considérant ce qui ressort dans des études réalisées sur l'effet important du climat sur le développement du cèdre, il devient nécessaire de prendre en considérations le facteur exposition, car en rapport avec certains facteurs climatiques tels que l'humidité qui est en rapport avec la pluviosité, la température et l'insolation, l'effet des vents : en Algérie comme au Maroc, les vents humides sont de direction Nord-Ouest ; ainsi, les expositions faisant face à ces vents sont plus arrosées; elles portent les plus belles cédraies, Au Maroc, la plupart des cédraies sont exposées aux vents d'Ouest chargés d'humidité (Abourouh, 1983). En Algérie, les expositions Nord et Nord –Ouest sont non seulement bien arrosées mais également à l'abri des vents desséchants et d'autre part sur la formation des sols et leur composante organo-minérale.

Nous considérons donc que l'exposition constitue un « repère-limite » du bon développement de l'espèce cèdre et de tout végétal par ailleurs. Ceci a été noté par Bentouati (1993), ce qui lui a servi de limite de marquage de la meilleure prédisposition de développement du cèdre au niveau du Belezma.

2.5. Altitude

Dans son aire naturelle, le Cèdre de l'Atlas est considéré comme une essence montagnarde. L'altitude influence le cèdre par les conditions climatiques, notamment les précipitations et les températures; plus l'Altitude est élevée, plus les précipitations moyennes sont élevées et les températures sont basses.

La limite altitudinale inférieure du cèdre dans les Aurès et dans le Rif se situe autour de 1400m, tandis que la limite supérieure peut aller jusqu'à 2300m au Chéla et 2800m au Maroc (Boudy, 1950). Selon Boudy (1950), en Algérie la limite inférieure est fonction de la plus ou moins grande humidité de la station, elle se situe dans l'Aurès à 1400-1500m en versant nord et 1600m en versant sud. (Abdessemed, 1981).

En France, au mont Ventoux, le cèdre peut descendre jusqu'à 680m (Toth, 1980), alors qu'en Provence, il peut se rencontrer à des altitudes inférieures à 400m, aussi bien qu'en altitudes supérieures à 700m où les conditions sont meilleures (Ripert et Boisseau, 1993).

D'après Schoenberger (1970), les limites supérieures et inférieures diffèrent d'une cédraie à l'autre, il distingue dans les cédraies aurasiennes deux étages bioclimatiques:

- L'étage subhumide supérieur à hiver froid, de 2000 à 2200m.
- L'étage subhumide inférieur à hiver froid, de 1600 à 2000m.

Correspondant respectivement à des pluviométries annuelles de 700/800mm et 500/600mm.

Du point de vue floristique, la limite inférieure est distinctive par la présence ou absence du Chêne vert.

II. Caractéristiques physiologiques et éco-physiologiques du cèdre

1. Physiologie du cèdre de l'Atlas

1.1. La respiration

C'est un phénomène inverse de l'assimilation chlorophyllienne. D'après Boudy (1952) la respiration des arbres assurée par le prélèvement du dioxygène et le rejet du dioxyde de carbone dans leurs milieux de vie.

La transformation c'est un phénomène qui se fait par voie des stomates, où il y a un dégagement de vapeur d'eau.

En l'absence d'aération des tissus, les cellules meurent par asphyxie. On rencontre ce phénomène pour les parties aériennes mais aussi au niveau des racines ; ce qui provoque finalement le dépérissement de cèdre.

1.2. Photosynthèse

Il a été démontré à travers des études expérimentales contrôlées que l'activité photosynthétique du cèdre dépend plutôt des basses températures, dans les conditions expérimentales contrôlées.

La limite de la photosynthèse hivernale du cèdre se situe autour de -8°C à -9°C . Elle, correspond à celle de la mise en dormance des organes qui participent à la photosynthèse, cet état induit la fermeture des stomates et l'interruption de l'entrée du CO_2 , donc l'arrêt de la photosynthèse.

1.3. Nutrition en eau et en éléments minéraux

Selon Boudy (1952) Les racines, recouvertes de minuscules poils absorbants, puisent l'eau et les minéraux dans le sol grâce au phénomène de l'osmose. Cette eau circule dans les canaux du bois (trachéide chez les résineux) et se répend dans le corps de l'arbre c'est la sève brute elle est aussi appelée sève montante elle est constituée de l'eau et de matière minérales)

Cependant, la sève fait l'objet de réactions et de transformations de divers constituants c'est le phénomène de l'élaboration, celle-ci consiste en la production de matières utilisées pour la formation de nouveaux tissus et pour l'accroissement de l'arbre.

Cette élaboration est réalisée par l'intermédiaire de la chlorophylle ; celle-ci se trouve sous la forme de petites grains dans les cellules des aiguilles et à la propriété d'absorber certaines radiation solaires, elle peut se décomposer, sous l'action de radiations solaires, et par la synthèse chlorophyllienne l'anhydride carbonique (CO₂) de l'air et libérant l'oxygène (O₂) et le carbone se combine avec les éléments de l'eau et forme des substances nutritives indispensables à l'arbre. Ce processus donne lieu à la formation de cellulose, de la lignine et des sucres connus «les hydrates de carbone».

1.4. La sécrétion

Chez le cèdre comme d'autre résineux, selon Boudy (1952), les cellules vivantes particulièrement actives sécrètent des substances (oléorésines) qui existent au niveau de l'écorce et particulièrement dans le bois de cèdre. Ces réserves ne sont pas utilisées pour son accroissement.

1.5. Croissance et développement

La croissance de l'arbre se manifeste à l'extrémité des axes par la formation d'une unité de croissance annuelle (F. Halle et R. Martin, 1968) qui représente l'allongement de l'axe entre deux bourgeons dormants, hivernaux. Cette croissance s'effectue en général au printemps, très rapidement après l'ouverture du bourgeon hiverné. L'allongement dure quelques semaines et s'achève par la formation d'un nouveau bourgeon dormant qui passera l'hiver suivant.

L'unité de croissance annuelle présente dans ce cas un seul cycle d'allongement. Certains facteurs influents sur l'accroissement, ce sont les conditions de vie de l'arbre le climat, le sol, et la densité végétale.

En ce qui concerne le développement des racines, la période d'accroissement correspond généralement à l'automne et un peu en hiver ; chez les résineux et globalement et particulièrement chez le cèdre il y a un repos complet. (Aussenac ,1988)

1.6. Reproduction

Le cycle de reproduction du cèdre de l'Atlas tel qu'il a été décrit en détail par Toth (1978) et confirmé par Derridj (1990) dure deux ans : il commence par une initiation florale (courant de été de l'année N), une pollinisation d'automne de la même année, dormance hivernale suivie par la fécondation durant (N+1) accompagné d'une augmentation du poids de cône et fécondé. Il acquiert sa maturité morphologique à la fin de septembre de l'année (N+2), elle est favorisée par les pluies. Les graines dispersées en automne séjournent au sol durant l'hiver et peuvent être recouvertes d'une couche de neige qui leur assure une sorte de stratification au froid humide et préparant à la germination au cours du printemps suivant.

Krouchi (1995) décrit la description du cours de la floraison mâle et femelle comme suit :

a-Evolution des chatons mâles : Les premiers bourgeons mâles commencent à se différencier morphologiquement vers la fin juin.

b-Evolution des inflorescences femelles et apparition des inflorescences femelles à lieu vers la fin août chez les arbres les plus précoces.

Le stade de réceptivité maximal au pollen est indiqué par l'ouverture des écailles à des angles perpendiculaire à l'axe du cônelet (Toth, 1978). La fermeture intervient dès la troisième semaine de septembre chez les arbres les plus précoces mais peut se poursuivre courant octobre.

2. Ecophysiologie du cèdre de l'Atlas

2.1. Le stress hydrique

Le climat agit par un effet négatif dû à une sécheresse récurrente induisant des perturbations physiologiques importantes liées à un déficit hydrique.

Lorsqu'une période de déficit hydrique dans le sol apparaît (Granier et al., 1995, 1999), la consommation en eau se réduit progressivement grâce à un mécanisme de régulation de la consommation en eau des arbres, localisée au niveau des feuilles, grâce aux stomates (Landmann et al., 2003). En cas de sécheresse prolongée, la limite de fonctionnement des vaisseaux peut être atteinte, ce qui provoque une embolie massive au niveau des racines et des vaisseaux conducteurs de sève, et de l'impossibilité de constituer des réserves (Landmann et al., 2003). Ces symptômes s'accompagnent de déshydratation rapide des tissus, voire de dépérissement total de l'arbre.

Le second facteur contrôlant la consommation maximale en eau d'un peuplement forestier est son indice foliaire, c'est-à-dire la surface de feuilles de tous les arbres rapportée à la surface du sol (Bréda, 1999). Plus un peuplement présente une surface terrière élevée, plus son indice foliaire, et donc sa consommation en eau, sont également forts, même si des variations dans la structure et la composition en espèces peuvent modifier légèrement cette tendance (Landmann et al., 2003).

2.2. Régénération

La régénération naturelle du cèdre de l'Atlas a fait l'objet de nombreux travaux de recherche citons entre autres Nadjahi, (1988) et Derridj, (1990), tant dans son aire naturelle (Maghreb) que dans son aire d'introduction (notamment en France).

Concernant l'action du feu sur la régénération de cette essence, (Le Houerou, 1980 ; Boudy, 1950; Quézel, 1956; Lepoutre, 1964 et M'hirit, 1982) s'accordent à reconnaître l'influence favorable des incendies sur le développement des cédraies (les Babors en Algérie et le Rif au Maroc sont précisément cités). Abdessemed (1984) signale la présence de tâches de régénération du cèdre, après incendie, sur les versants sud du Chélia (Aurès). En France, Toth (1987) constate également qu'après le passage du feu, il se produit très souvent une abondante régénération naturelle du cèdre.

Il a été démontré par M'Hirit et al., (2006), que la régénération du cèdre est influencée par un ensemble de facteurs importants tels que le climat, le sol, la formation de la végétation en place et l'action anthropique.

Toth(1978) parle de l'importance du gel et dégel pour la désarticulation des cônes et la dissémination des graines. En effet, l'absence de gelées surtout à faible altitude peut limiter la régénération des peuplements.

Selon Pujos et Lepoutre, (1964), les températures optimales maximales journalières qui favorisent la germination des graines avoisinent les 9.5°C degrés. Ces températures doivent être continues sur une période estimée de 9 à 10 jours.

En période de végétation, lorsque les températures maximales sont élevées, elles agissent négativement sur le bilan hydrique du milieu.

La germination des graines et le développement des semis sont plus faciles sur certains sols développés sur des formations tels que le basalte, le grès, le schiste, et sur quelque faciès dolomitiques (dolomie sableuse du Lias inférieur) avec toutefois des préférences pour des formations à base de calcaire et argiles.

L'action du couvert sur l'évolution de la régénération du cèdre est complexe et doit être analysée selon les stations.

Du point de vue altitudinal (au-delà de 2000m), la germination du cèdre peut être retardée par le couvert végétal en place. Par ailleurs, l'insuffisance en hiver de la chaleur réduit les chances de survie des plants notamment en période sèche. Par contre en cédraie comprise entre 1600 à 1800 m, le couvert joue un rôle d'amélioration et de protection contre les fortes insolation.

D'une façon générale les recouvrements moyens par opposition aux recouvrements extrêmes faibles et forts sont favorables à l'installation de la régénération et au maintien des jeunes plants. (M'hirit, 2006).

En effet, les cônes, encore immatures physiologiquement, lors du mois d'août, et qui ont de surcroît besoin d'un coup de froid humide, pour leur désarticulation et la dissémination des graines (Zaki, 1968 ; Toth, 1978), brûlent avec leurs graines, tout simplement, au lieu d'éclater durant l'incendie. D'autre part, comme le fait remarquer Boudy (1952), les incendies de cédraies, à l'inverse des pineraies, n'entraînent pas la destruction complète des peuplements.

2.3. Productivité forestière

La production totale est définie par le volume des arbres sur pied complété par celui des souches des arbres enlevés (Decourt et Le Tacon, 1970).

L'utilisation des « hauteurs dominantes » permet, entre autre, une définition simple de la capacité de production d'une station, et en conséquence un classement (Pardé, 1956). Aussi la relation entre l'âge et la hauteur dominante du peuplement (calculée sur les 100 plus grosses tiges à l'hectare), indifférente au mode de traitement sylvicole appliqué, grâce à des mesures complémentaires sur des peuplements de cèdre de surface réduite et très dispersés ont permis d'étudier la productivité de l'espèce.

Le cèdre de l'Atlas a une productivité proche des grandes espèces forestières méditerranéennes. L'accroissement moyen annuel dépasse 8 m³/h par an dans les stations naturelles et 12 m³/ha par an dans les stations artificielles très fertiles (M'hirit, 1994)

2.4. Dépérissement

En Algérie, les peuplements, mal venants dans la majeure partie des massifs, sont soumis aux différents facteurs de dégradation habituels (coupes illicites, pâturage, piétinement, incendies...). Le dépérissement du cèdre n'est pas récent, à ce titre Boudy (1950) mentionne des cas de sécheresses exceptionnelles entre 1875 et 1888, et qui auraient occasionné d'importants dégâts sur les peuplements de cèdres.

De nouveaux cas de dépérissement enregistrés en 1982, touchent, par degrés, l'ensemble des cédraies des Aurès entre autres celles du Bélezma, car soumises aux influences sahariennes, ainsi que les plus méridionales (Taghda et Djebel Lazreg) situées en limite sud des Aurès. Les stations qui semblent être favorables au dépérissement sont celles associées au Chêne vert et se présentent souvent dans un état de dégradation avancé.

L'explication avancée par Bentouati et Bariteau, (2006), semble se focaliser sur l'exposition des massifs face aux influences sahariennes avec pour conséquence particulière la formation de substrat marneux générant des sols superficiels à capacité de rétention en eau faible ce qui accélère la mortalité des peuplements.

A OuledYakoub, le dépérissement de quelques arbres isolés qui présentent un dessèchement de la cime, l'attaque est devenue plus importante, et ce sont des bouquets entiers de cèdres qui commencent à dépérir.

Au Chélia, ce phénomène est plus accentué au niveau des lignes de crêtes et en exposition sud. Dans cette zone, le dépérissement apparaît sur le long du versant, et par bouquets de vieux arbres.

Au début, le dépérissement touchait plus particulièrement les arbres âgés situés dans des conditions de mauvaise alimentation en eau (pente, sol superficiel, arbres déchaussés), mais on s'aperçoit, aujourd'hui, que même les jeunes sujets ne sont pas épargnés.

Au Maroc, le dépérissement du Cèdre est apparu vers les années 1940 et s'est aggravé depuis cinq ans. Le diagnostic montre que le déficit hydrique reste la raison principale de ce dépérissement. Les dégâts observés dans les massifs du Haut et du Moyen Atlas sont de types très divers.

L'action de l'homme se manifeste par des coupes, des élagages et des défrichements. Les branches d'arbres sains sont coupées par les riverains pour leurs besoins en bois (construction des habitations, charrettes, etc.) et pour nourrir le bétail pendant la mauvaise saison. Toutes les classes d'âge peuvent être touchées, mais les jeunes arbres semblent être préférés. L'homme agit aussi négativement sur la cédraie d'une manière indirecte par l'intermédiaire des ovins, bovins et caprins. En effet, ces dernières années, nous assistons à une augmentation de la densité du cheptel et à la multiplication des troupeaux mixtes (chèvres et moutons) qui exploitent des habitats même à haute altitude. D'une part, dans certaines parties de la cédraie du Moyen et du Haut Atlas, le broutage des feuilles de cèdre accessibles au bétail fait que tous les arbres soient dépourvus de rameaux en dessous de 2 m. D'autre part, le surpâturage du sous-bois et des jeunes plantules ainsi que le damage du sol par les sabots des différents troupeaux conduit à la disparition des plantes fourragères et à la perte des jeunes plants de cèdre.

Dans le Haut et le Moyen Atlas, le dépérissement proprement dit du cèdre se caractérise par un dessèchement progressif des arbres ; il débute par la cime et se poursuit jusqu'à ce que la totalité de l'arbre soit sèche.

En outre, Bakri et Haddan, (1999) ; Amrani, (2002), ont constatés que les céderais du Maroc sont sujettes aux attaques de ravageurs de divers types tels les insectes phyllophages (la processionnaire des pins Thaumetopea pityocampa, et la processionnaire de l'été. Thaumetopea bonjeani et la tordeuse du cèdre Alcerisun dulana), tels que les champignons lignivores (Trametes pini connu localement sous le nom de Mjej et Ungulina officinalis ou Saboun) et le singe magot Macaca sylvanus

Chapitre II :
Typologie des
stations
forestières

Dans le but de réaliser différentes études au niveau des écosystèmes forestiers, il est nécessaire de décomposer ce milieu en fonction de plusieurs paramètres (climat, sol, végétation) en zones homogènes appelées «station forestière».

La réalisation d'une étude des stations forestières, sur un massif ou une région naturelle, doit aboutir à la fois à l'établissement d'une référence scientifique et d'un outil de travail pour le forestier.

I. Notion de station

1. Définition et caractères généraux

1.1. Définition

La notion de station forestière correspond à une étendue de terrain de superficie variable, homogène dans ses conditions physiques et biologiques (mésoclimat, topographie, composition floristique/végétation spontanée, sol). Elle justifie, pour une essence déterminée, une sylviculture précise avec laquelle on peut espérer une productivité comprise entre des limites connues" (Delpech et al., 1985 ; Becker, 1988).

Toutes les stations qui présentent des conditions écologiques analogues ou suffisamment proches constituent un type de stations forestières.

Parallèlement à son homogénéité spatiale, la station présente une certaine stabilité dans le temps. Dans ce sens, la station est considérée relativement indépendante de la sylviculture qui y est pratiquée, donc du type de peuplement existant.

Un type de station peut ainsi présenter différents sylvo-facies selon la sylviculture appliquée. Mais sous l'action humaine, la station peut subir des transformations irréversibles qui se traduisent par un véritable changement de type de stations.

1.2. Analyse de la notion de station

Selon Bonneau et Timbal (1973) La notion de station est une notion synthétique résultant de l'interaction des facteurs écologiques et des organismes vivants présents en un lieu donné. Les trois ensembles, microclimat, sol et biocénose par lesquels se définit la station peuvent être qualifiés de « résultants » ou « secondaires ». Ils sont en effet eux-mêmes sous la dépendance plus ou moins directe de facteurs « primaires » et qui sont essentiellement :

- le substrat géologique,
- le méso et le macroclimat,
- la topographie,
- le potentiel floristique régional,
- le potentiel faunistique régional,
- l'action humaine.

Ces facteurs « primaires » sont plus ou moins liés entre eux et ne sont généralement pas directement perceptibles par l'homme. Leurs actions se combinent pour déterminer les facteurs « résultants » qui, eux, sont directement perceptibles et qui, en retour, ne retentissent pas sensiblement sur les premiers.

Les facteurs secondaires cités sont très fortement interdépendants. Par exemple le sol dépend de la végétation herbacée, du peuplement, de la micro et de la macrofaune, mais en même temps exerce sur eux une influence très importante. Ainsi l'ensemble de ces trois facteurs apparaît comme un tout qu'on peut analyser, mais dans lequel il est impossible d'isoler l'action d'un facteur déterminé.

1.3. Notion de groupes de stations

La notion de station forestière telle qu'elle vient d'être définie correspond parfois à des surfaces trop petites pour que le forestier gestionnaire puisse y envisager un traitement spécial. On est donc ainsi amené à concevoir, pour l'aménagement et la gestion des massifs forestiers, des groupes de stations, unités de plus grande surface, justiciables d'un même traitement. Ces unités résultent :

-Soit du rapprochement de stations peu différentes les unes des autres par leur caractéristiques écologiques et à l'intérieur desquelles on peut agir à peu près de la même manière. Bonneau et Timbal (1973) définissent les groupements comme «... *des espaces où les unités stationnelles particulières sont suffisamment semblables pour que les possibilités et les procédés de culture de la forêt et le rendement soient sensiblement les mêmes.* »

-Soit du rassemblement de plusieurs types de stations très différentes, mais peu étendues et juxtaposées plus ou moins régulièrement. C'est la notion de mosaïque de stations ; une de

leurs caractéristiques essentielles étant alors leur hétérogénéité écologique. Contrairement à la station sensu stricto, qui est une réalité écologique indépendante et relativement permanente, le groupe de stations est une notion qui dépend donc de l'intensité de gestion recherchée et même de l'état des connaissances sylvicoles. Elle est donc susceptible d'évoluer dans le temps. Par exemple, en Algérie où l'intensité de la gestion est très forte et où le jardinage est très souvent la règle, on arrive à traiter de manière indépendante des unités de surfaces relativement petites de l'ordre de l'hectare, ce qui est inconcevable en France. Les unités de gestion du forestier, c'est-à-dire la parcelle ou la sous-parcelle, doivent coïncider le plus exactement possible avec ces groupes de stations.

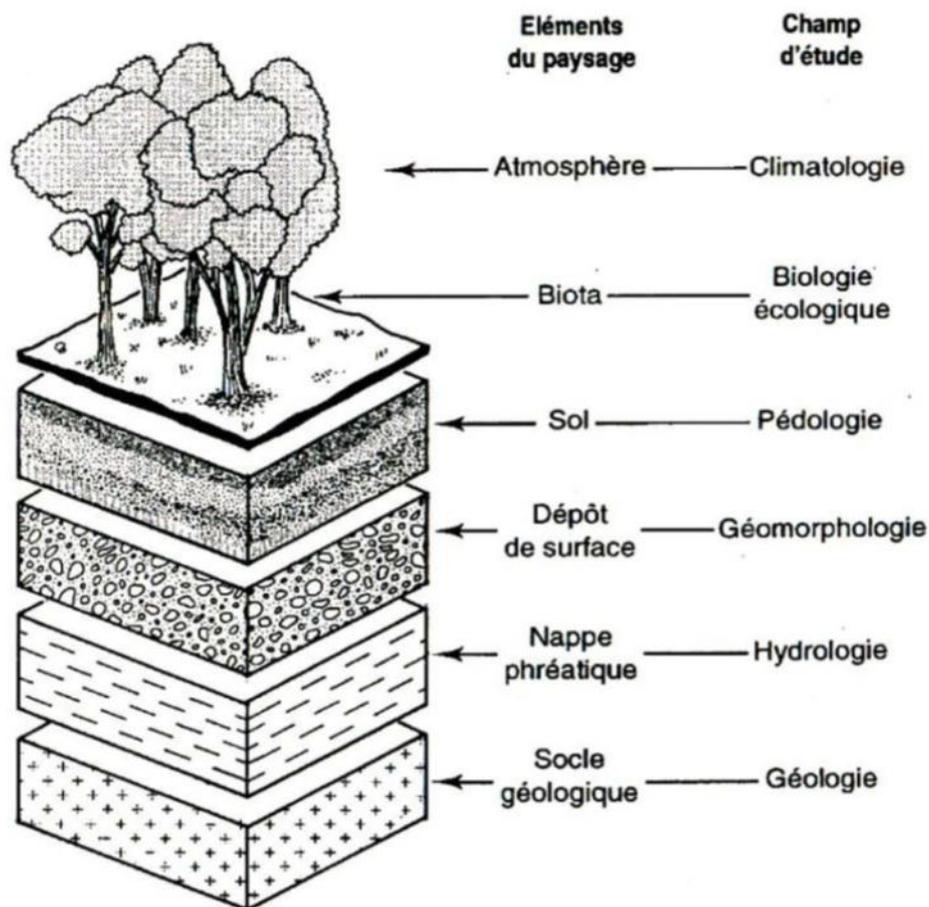


Figure 2: Vision de l'écosystème élémentaire, cellule de base de paysage (principe de stations forestières) ; (Fortescue, 1980, in Ducruc, 1991).

2. Utilisation pratique de la notion de station

2.1. Conception forestière

Pour le forestier la station reçoit une signification supplémentaire. Il la définirait plutôt comme : « ... *une étendue de forêt, homogène dans ses conditions écologiques et son peuplement, dans laquelle le forestier peut pratiquer la même sylviculture et peut espérer une même production* ».

Ce concept de station forestière, ainsi défini est donc très proche du concept écologique précédemment analysé, mais on y a ajouté l'idée d'homogénéité du peuplement et d'un concept de gestion : espérance d'une même production, pratique d'un même traitement sylvicole (Bonneau et Timbal, 1973)

2.2. Dynamique des stations et action anthropique

L'idée de gestion attachée au concept forestier de station conduit à distinguer grosso modo deux degrés dans les résultats de l'action humaine.

- L'action humaine directe ou indirecte (incendie, surpâturage par exemple) a conduit à des changements irréversibles, à des diminutions de la productivité des stations naturelles originelles (érosion ou podzolisation accentuées). Les surfaces correspondantes doivent être considérées alors comme des unités stationnelles distinctes et indépendantes.
- L'action humaine n'a conduit qu'à des changements peu profonds et réversibles, par exemple changement du type d'humus, micro-podzolisation de surface sous l'influence d'une essence introduite. Mais le sol lui-même n'a pas subi de profonde évolution physicochimique. Son potentiel de production est resté intact. On a bien affaire à un type de station particulier, dégradé ou secondaire par rapport à la station originelle, mais qui est susceptible de retrouver en quelques années ses caractères primitifs par retour à l'essence originelle. Il est important dans ce cas de rechercher, dans la mesure du possible, quelle est la station originelle dont est dérivée la station dégradée et de ne considérer cette dernière que comme une variante de la première. Cette filiation devra être mise en lumière dans la nomenclature des stations et dans leur représentation cartographique. Il est bien évident que ces concepts de station originelle et de station dégradée sont une application directe de la notion de dynamique de la végétation et de la notion de série de végétation définie par Gaussen. (Bonneau et Timbal, 1973)

3. Type de stations et concept

Les stations peuvent être unitaires ou complexes

3.1. Peuplement unitaire

C'est une station de taille moyenne qui s'étend sur une certaine superficie caractérisée par une homogénéité au plan écologique (même peuplement, même microclimat, même topographie, même sol et même roche mère...) ; elle peut être mono-spécifique ou mixte selon la constitution du peuplement.

3.2. Peuplement complexe

C'est une station formée par la fusion soit de petites stations possédant entre elles quelques caractéristiques écologiques communes, soit de petites stations mais différentes sur le plan des facteurs écologiques.

4. Classification des stations forestières

4.1. Classification des stations selon la nature des peuplements

4.1.1. Concept de peuplement pur

Un peuplement est dit pur lorsqu'il est formé par des arbres appartenant tous à la même espèce.

4.1.2. Concept de peuplement mixte

Il est dit mélangé s'il est formé par des arbres appartenant à deux ou plusieurs essences. Dans le mélange, une essence sera mieux représentée que les autres, elle est dite dominante, là où les autres sont appelées subordonnées. (Messaadia, 2010)

4.2 Classification des stations selon leur potentiel productif

Selon la nature des facteurs et leur effet sur la productivité forestière, on distingue trois grands types de stations en allant du bon jusqu'au mauvais potentiel productif (Messaadia, 2010)

4.2.1. Station à potentiel productif élevé

C'est le résultat d'interactions positives entre tous les facteurs qui influencent la fertilité de la station. Exposées au nord, ces stations sont soumises à un climat humide, une nébulosité et hygrométrie de l'air élevées, et une évaporation faible.

Les peuplements sont de type feuillus (érable, chêne, frêne...) ou mixtes (feuillus résineux) et un sol de type brunifié ; ces facteurs induisent une bonne croissance et une bonne productivité forestière.

4.2.2. Station à potentiel productif moyen

Les facteurs influençant la productivité de ce type de station exercent un effet moyen qui agit sur la nutrition minérale et l'alimentation hydrique des peuplements et par conséquent il y aurait une croissance et une productivité moyenne des peuplements.

4.2.3. Station à potentiel productif faible

C'est le résultat d'interaction négative entre tous les facteurs influençant la productivité de la station. Ces stations forestières se caractérisent par : un microclimat peu humide, une faible nébulosité, l'hygrométrie de l'air et les précipitations sont moins importantes et l'évaporation est élevée en relation avec un régime de température variable. Dans ces stations, les peuplements sont constitués de résineux avec des sols lessivés, podzoliques et acides.

II. Typologie des stations forestières

1. Définition

D'après Bréthes (1989), la typologie est la reconnaissance et la description de tous les types de station d'un massif forestier ou d'une région forestière. Cette typologie doit fournir au forestier gestionnaire :

- d'une part, les éléments, si possible simples, de caractérisation des types de station de son massif (caractérisation ponctuelle ou à but cartographique) ;
- d'autre part, des informations suffisantes pour l'évaluation des potentialités de production (réserve en eau, niveau de nutrition minérale, contraintes majeures ou secondaires, etc . . .), de chacun de ces types de station.

Une étude des stations qui ne comporterait pas les informations écologiques et biologiques permettant le choix des essences à favoriser et la compréhension de leur comportement serait inutilisable en gestion.

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

Ainsi ce serait une erreur de concevoir comme suffisamment précise une typologie qui se baserait exclusivement sur une étude floristique sans tenir compte du facteur sol ou qui, inversement, ne comporterait qu'une description sommaire des types de sol.

2. Eléments d'une typologie

Une typologie présente au minimum une fiche de description pour chaque type de station. Elle permet de connaître les principales caractéristiques du type, et de comparer les stations entre eux.

Très souvent, on trouve également une clef de détermination des stations. Cette dernière permet d'associer un type à un relevé effectué en forêt. C'est elle qui permet de rendre opérationnelle la typologie (Allégrini, 1981).

3. Principes d'élaboration de la typologie

La typologie s'effectue suivant trois phases (Timbal et coll., 1984 - Rameau 1986 ; 1988 Becker 1988):

- phase première ou phase de terrain :

-reconnaissance de la zone d'étude

- relevés phytoécologiques.

- Phase secondaire :- Analyse des relevés.
- Phase troisième :- Synthèse et élaboration du catalogue.

Lors de la première phase, il s'agit en effet d'effectuer :

1- l'inventaire floristique compte tenu de la stratification (arborée, arbustive, herbacée), nous utilisons pour cela la méthode dite « coefficients d'abondance/dominance » de Braun-Blanquet.

2- La description des caractères : géomorphologiques, topographiques, pente et exposition.

3- L'analyse du substrat sol ; la formation de l'humus.

3-La caractérisation du peuplement forestier.

L'analyse des données de terrain et/ou de laboratoire, est réalisée par utilisation de l'outil statistique suivant : "analyses multivariées" (Analyse Factorielle des Correspondances - Classification Ascendante Hierarchique) telle développée par plusieurs auteurs entre autres Daget & Godron, (1982) - Lebart et coll., (1982) - Briane, (1991) - Gegout & Houillier, (1993).

La phase de synthèse établit finalement les "liens écologiques" qui existent entre les types de stations et nous permet:

- * de mettre en exergue l'organisation écologique des formations forestières régionales.
- * de comprendre et d'expliquer l'évolution et la dynamique forestière.
- * d'élaborer une clé de détermination des types de stations.
- * d'élaborer un catalogue des types de stations.

4. Typologie des peuplements

La typologie des peuplements est une description des peuplements ; elle permet de se repérer plus facilement. Elle fait souvent la synthèse de nombreuses variables : volume, surface terrière (somme des sections des arbres à 1,30 m de hauteur), densité, répartition en petit bois (PB), bois moyen (BM) et gros bois (GB) et enfin, composition en essences.

Selon Doussot (1990), créer une typologie de peuplements, c'est réunir dans un effort de synthèse, sous une même appellation, des peuplements ayant en commun certaines caractéristiques jugées déterminantes compte tenu des objectifs assignés à long terme et des règles sylvicoles à leur appliquer à court terme.

Des typologies de peuplements ont été présentées dans le cadre de sylviculture et d'aménagement, dont la plus ancienne, construite par Herbert et Rébeiro (1981), concerne les peuplements résineux jardinés de la Haute-Chaîne du Jura.

5. Station forestière et choix sylvicoles

Selon Dubordieu (1997), on ne peut pas gérer de façon raisonnée et durable une forêt sans connaître parfaitement ses conditions de croissance. C'est précisément l'objet des études de typologie des stations. A partir de l'analyse des différents ensembles climat- sol – végétation d'un massif forestier ou d'une région naturelle, on aboutit à l'établissement d'un outil pratique de diagnostic pour le forestier.

Le forestier a besoin, pour l'application à la gestion, d'une approche synthétique. La description d'une station permet de préciser les facteurs qui, pour cette station, vont conditionner leur croissance ; il s'agit d'une démarche pluridisciplinaire.

6. Stations et production forestière

Rameau et al., (1989, 1993) ont montrés que les relations station/production ont pour objectif de prédire la potentialité de production d'une essence sur un site, en fonction des caractéristiques des stations. Les relations ne peuvent être précisées qu'après la définition des types de station. D'autres approches permettent d'établir des relations facteur(s) écologique(s)/production et font appel à des connaissances autécologiques,

Terras (2011) dans son étude sur la typologie des stations, a considéré que le forestier est confronté en premier lieu au choix des essences les mieux adaptées, et de connaître le niveau de production en volume et la qualité des produits qu'il peut espérer. Deux approches, complémentaires, sont envisageables, la première démarche, dite autécologie, consiste à rechercher les liens entre un indice de fertilité (le plus souvent la hauteur à un âge donné) et les facteurs de croissance pris indépendamment les uns des autres. Cette démarche permet de définir les facteurs discriminant au mieux les niveaux de fertilité, et de préciser les bornes des classes au sein de chacun de ces facteurs, ses classes n'étant valables que pour l'essence étudiée. Le forestier peut donc prévoir le comportement de cette essence en comparant son autécologie aux caractères des types de stations définis dans le catalogue.

Chapitre III :
Cartographie des
stations
forestières

La cartographie des stations forestières vise la description des stations rencontrées en forêt. Pour cela, elle prend en compte l'ensemble des facteurs naturels tels que sol, climat, configuration du terrain et milieu vivant qui sont dynamiques à un endroit donné. Le résultat de cette description est la carte des stations représentant les associations forestières naturelles.

I. Techniques de cartographie des stations forestières

1. Méthodes de cartographie des stations forestières

Grâce à un relevé stationnel (sol, flore, topographie), il est possible de déterminer localement le type de station. A l'échelle d'une forêt, un certain nombre de relevés doivent être réalisés afin de produire une carte. Il existe pour cela différentes stratégies qui varient en fonction :

- de la manière de parcourir le terrain,
- de la densité des relevés,
- du choix des emplacements de relevés,
- de la façon de traduire les informations de terrain sous forme cartographique...

1.1. Les méthodes classiques de cartes de stations

1.1.1. Les méthodes systématiques

Les méthodes systématiques s'appuient sur un parcours complet de la forêt avec la notation du type stationnel selon les nœuds d'un quadrillage. Cette méthode est également appelée cartographie par sections (Legros, 1996). Le cheminement se fait généralement à la boussole. Il peut être difficile dans les peuplements à sous-étage dense ou de pénétrabilité difficile (ronces, jeunes peuplements).

La carte obtenue est une carte de points (cartogramme). Elle peut être traduite en carte en carroyage (Grandjean, 1976) voire en courbes lissées en regroupant les zones homogènes et en s'appuyant sur différentes informations (courbes de niveau, géologie).

Ce travail peut parfois être plus « artistique » que scientifique dans la mesure où il n'y a pas toujours d'éléments réels qui permettent de définir un tracé.

1.1.2. Les méthodes par transect

Delpech et al. (1985) ont constaté qu'un transect est un itinéraire rectiligne de prospection et/ou d'échantillonnage recoupant une diversité maximale de situations topographiques, géologiques, géomorphologiques et végétales. Ainsi, les méthodes par transect s'appuient sur la réalisation de cheminements permettant d'optimiser la découverte des différentes stations. C'est à l'opérateur de définir ses parcours de la manière la plus judicieuse possible.

Plusieurs possibilités existent pour choisir l'emplacement des transects et le nombre de points de sondage. La topographie est toujours citée, les transects devant suivre la ligne de plus grande pente (ONF DR Alsace, 1990 ; Denis, 1997 ; Weben, 1998).

L'espace entre les transects est variable (100 m à 300 m). Ils peuvent être droits, avec uniquement des axes parallèles, en étoile autour de points hauts (Denis, 1997). D'autres paramètres que la topographie peuvent être pris en compte pour le positionnement des transects, par exemple la géologie, l'orientation des versants ou le réseau hydrographique (Weben, 1998). Le nombre de points à réaliser peut dépendre des changements stationnels repérés par l'opérateur ou les sondages peuvent être réalisés de manière semi-systématique (c'est-à-dire un sondage à chaque changement stationnel et des sondages tous les 100 ou tous les 150 m même en l'absence d'indices permettant de supposer un changement de station, pour contrôler l'homogénéité).

1.1.3. Les méthodes par zonage préalable

La répartition des sols et donc des stations forestières ne se fait pas au hasard : elle suit assez souvent une certaine logique. Les méthodes par zonage préalable essaient donc de retrouver cette logique pour définir a priori des zones homogènes d'un point de vue stationnel. La phase de terrain sert alors à valider ou à recadrer ce découpage et à déterminer les types de stations. De plus, les logiques de répartition des sols aident à déduire de données ponctuelles (les points de sondages) les contours de la carte des stations (Lucot et Gaiffe, 1994).

En marge des méthodes par zonage préalable, Jacques Drapier (1989) propose une stratification a priori (selon la topographie, la géologie, la structuration du catalogue). Cependant, elle a pour finalité de permettre le choix des techniques d'échantillonnage (par maillage ou par transect) et non le tracé de la carte.

II. Les méthodes modernes de cartographie des stations forestières

1. Échelle et facteurs cartographiés

Il est bien évident que la cartographie des stations, du moment qu'elle se fait à une échelle généralement grande (du 1/25 000 au 1/5 000), se pratique toujours dans un cadre régional étroit (cas d'un massif forestier) au climat assez homogène.

La cartographie des stations prend généralement en considération, soit simultanément, soit individuellement, le sol, la végétation et la topographie.

Le sol parce qu'il est une des trois composantes de la station et qu'il est une des données de base pour l'explication de la production.

La topographie parce qu'elle est un facteur immédiatement perceptible qui permet d'appréhender en grande partie le facteur microclimat, autre composante de la station, et certains aspects du sol.

La végétation parce qu'elle est également une des composantes fondamentales de la station qui est à la fois immédiatement perceptible dans sa totalité et qui est sans doute le meilleur synthétiseur des autres facteurs écologiques.

2. le système d'information géographique

L'avènement de l'informatique a bouleversé bien des données et a permis d'améliorer sans cesse la gestion dans toutes les disciplines. La cartographie n'est pas restée à l'écart de toutes les évolutions. L'informatique a d'abord permis l'automatisation de certaines tâches qui étaient manuelles à l'origine et a permis dès les années 1980, le passage de la carte sur papier à la carte numérique. Ces dernières années les SIG sont apparus et commencent à s'imposer comme outil de gestion et d'aide à la décision. Un S.I.G. est un Système d'Information adapté à une information particulière, l'Information Géographique. (Gouaref, 2012)

2.1. Le SIG en théorie

Le traitement informatique de données liées aux risques naturels entre dans le cadre de la géomatique qui est un champ d'activités scientifiques et techniques qui intègre, suivant une approche systémique, l'ensemble des moyens d'acquisitions et de gestion des données à référence spatiale utilisées dans le processus de production et de gestion de territoires. Selon Berger et al. (2005), un SIG peut être défini comme un ensemble coordonné d'opérations généralement informatisées destinées à transcrire et à utiliser des données géographiques sur un même territoire. Ce dispositif vise particulièrement à combiner au mieux les différentes sources accessibles: bases de données, savoir-faire, capacité de traitement selon les applications demandées.

2.2. Les composantes d'un SIG

- Un SIG doit comporter au moins sept composantes :
- Une base de données à caractère spatial et thématique.
- Un système de représentation cartographique.
- Un système de saisie numérique.
- Un système de gestion de la base de données géographique.
- Un système d'analyse spatiale-Un système de traitement d'images-Un système d'analyse statistique.

Ces composantes traduisent cinq fonctionnalités générales:

- Acquérir : fonctions de numérisation et d'importation des données.
- Archiver : transférer les données de l'espace de travail (en cours de manipulation) vers l'espace d'archivage (en stock).
- Analyser : analyse des données (méthodes quantitatives, statistiques) et analyse spatiale (opérateurs topologiques).
- Afficher : visualiser l'information géographique (cartes, tables, documents textes...).
- Accéder : accéder aux données même à distance.

Cette description des SIG en termes de fonctionnalités est dite «Les 5 A ». (DRIOUECHE, 2006)

2.3. Modes de représentation des données

Deux modes de représentations des données cohabitent

2.3.1. Le mode image (structure Raster)

Correspond à une division régulière de l'espace sous forme de cellules (pixel) en anglais, abréviation de (Picture élément). Rectangulaires ou carrées. Il est fortement lié à la notion d'image (ex: image satellitaire, MNT ...).

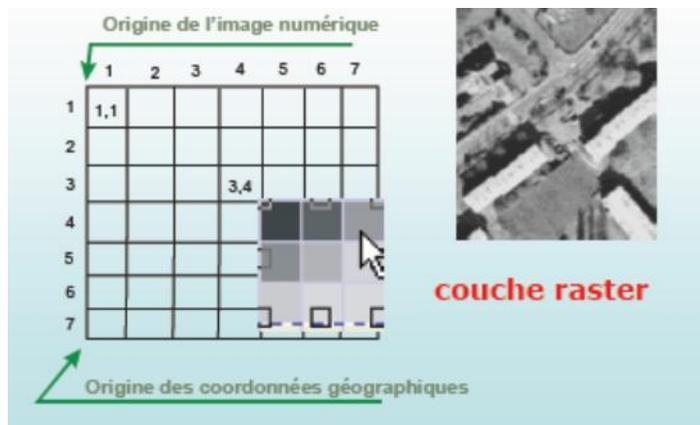


Figure 3 : Présentation de la structure raster (Gouaref, 2012)

2.3.2. Le mode objet (structure vectorielle)

Le mode vecteur où chaque objet représenté sur la carte est décrit par des points successifs composant son pourtour. Chaque point est localisé par ses coordonnées rectangulaires et est joint au point suivant par un segment de droite (d'où le terme de vecteur).



Figure 4 : Présentation de la structure vectorielle (Gouaref, 2012)

Drioueche, (2006) signale qu'on peut convertir des données raster en données vecteur (vectoriser), ou convertir des données vecteurs en Raster pixels (pixeliser ou rasteriser).

3. Modèle numérique de terrain (MNT)

3.1. Concept de modèle numérique de terrain (MNT)

D'après Gouaref (2012) Un modèle numérique de terrain (MNT), modèle numérique d'altitude (MNA) (ou Digital Elevation Model) est une représentation numérique d'une surface continue. Dans la majorité des cas, appliquée à l'élévation Géobases (le plus souvent matricielles) à structure adaptée pour analyser des caractères structurels du terrain:

- pente,
- orientation de la pente,
- lignes de force du relief,
- ombres portées, etc,
- chenaux de drainage,
- limite des bassins-versants,
- aires de visibilité, etc.

Le modèle numérique de terrain fournit une information altimétrique, c'est une représentation numérique simplifiée de la surface du territoire, intégrée dans le SIG cette information joue un rôle très important dans les méthodes d'analyse spatiale en particulier pour la prise en compte de la morphologie du terrain.

Il existe de nombreuses représentations possibles des surfaces sous forme de MNT sans les SIG, les deux formes essentielles recouvrent le mode Raster et le mode Vecteur. (Drioueche, 2006)

3.2. Caractéristiques des MNT

Selon Hadjadj (2011) Il existe différentes dénominations pour le terme générique de MNT suivant la technique de production utilisée pour l'obtenir. Dans le domaine terrestre, certains ne modélisent que le sol (modèle numérique de terrain), tandis que d'autres comprennent

Partie bibliographique Chapitre 3 : Cartographie des stations forestières

également le sursol, comme la végétation ou le bâti (modèle numérique de surface, MNS, ou modèle numérique d'élévation, MNE) (ARCGIS User's guide, 2006). Ces derniers s'obtiennent généralement par des jeux de données brutes acquises grâce à des techniques telles que le Lidar, la photogrammétrie, ou la radargrammétrie (SHORT, 2000). Les MNT constituent le plus souvent un dérivé de ces modèles, « filtré » de tous les éléments constitutifs de la couverture topographique pour ne garder que le sol nu. Le terme « couverture topographique » désigne tous les éléments situés au-dessus de la surface terrestre continentale : bâtis et végétation haute comme les forêts.

Partie
expérimentale
Chapitre I :
la zone d'étude

L'étude de la répartition d'un peuplement nécessite une certaine connaissance de son habitat. Mais pour aborder la distribution des peuplements, il convient de détailler certains aspects de son milieu naturel (Demarteau, 2006)

I. Situation et caractéristiques physiques

1. Situation

Selon L'office National des Travaux forestiers (O.N.T.F ,1982 in Bouzidi, 2008), actuellement ERGA, la série Chélia est un massif boisé en majorité de cèdre, divisé en 38 parcelles réparties sur une superficie estimée à 5552 ha ;

Située au nord du massif de Beni Mloul, elle est limitée au sud par l'oued El Askar et la route de Bouhmama-Medina, à l'ouest par des surfaces des hautes pelouses qui font la limite de la série, au nord, par la limite entre la surface forestière et la surface agricole près de L'Oued talha et enfin à l'est par la série Cantina.

Les coordonnées géographiques de la série de Chélia sont :

35°18 et 35°22 latitude nord

6°36 et 6°42 longitude est

Toujours d'après cet office, la série Chélia dépend administrativement de la circonscription de Bouhmama (conservation des forêts de Khenchela).qui est située au sud-ouest à une altitude moyenne de 1815 m (figure 5).

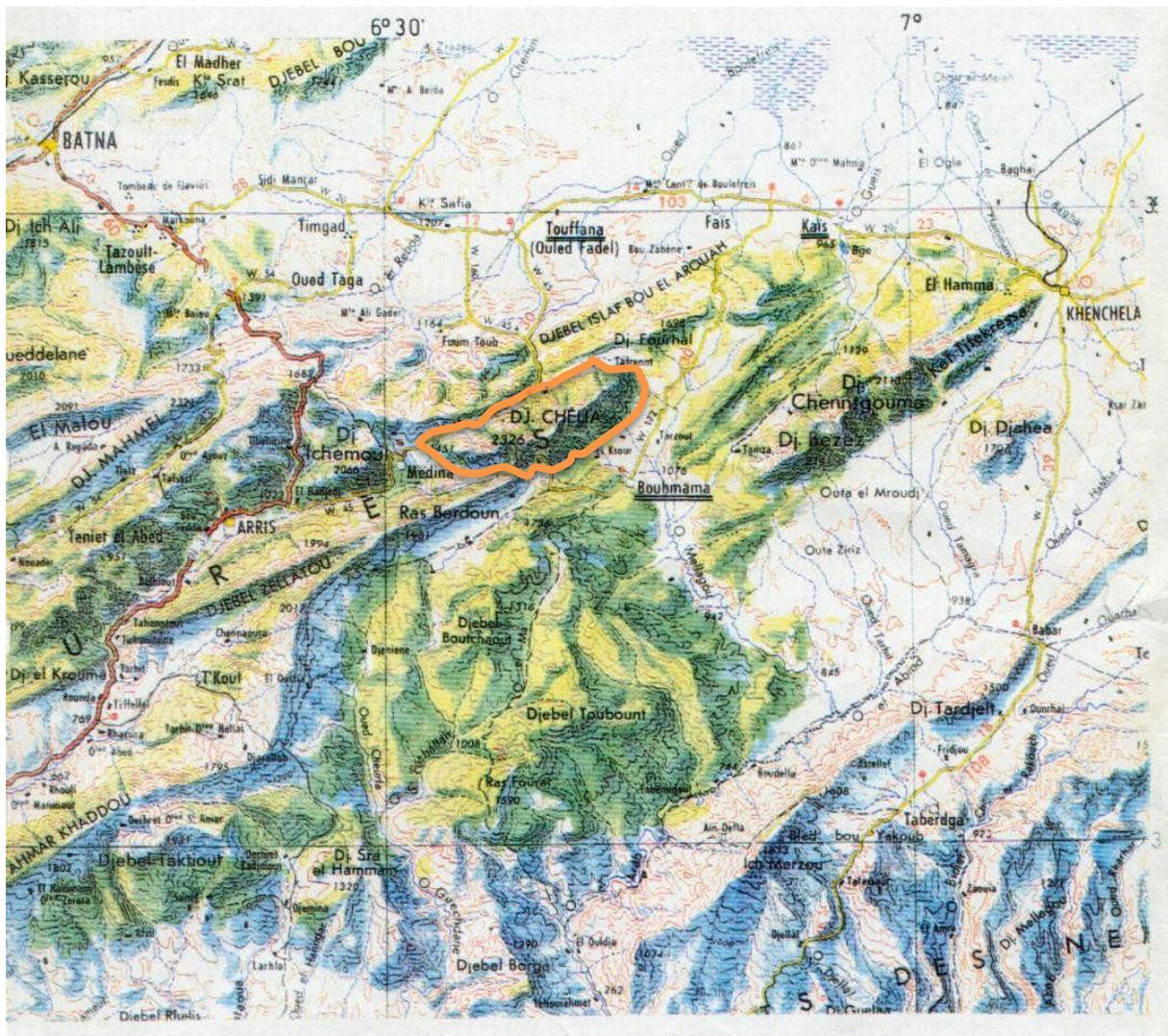


Figure 5 : Situation géographique des cédraies de Chélia Echelle : 1/500.000

2. Caractéristiques topographiques

D'après L'O.N.T.F (in. AIDEL 1999), La zone du Chélia qui est à orientation Sud-Ouest/ Nord- Est, se caractérise par un relief très accidentés se présentant sous la forme de plusieurs monts d'altitude allant de 1600 jusqu'à 2328 m à Ras Keltoum et traversées par des oueds importants tels l'oued Tider, oued mellagou.

3. Caractéristiques lithologiques et morphologiques

Les cédraies de Chélia se rencontrent, selon Faurel et Laffite (1949), sur des grès ferrugineux et des dolomies du Crétacé inférieur. On y rencontre principalement des substrats siliceux (ONTF actuelle ERGA, 1982).

La géologie de la série Chélia est formée surtout par un grès entremêlé de calcaire dans des proportions différentes, ou calcaire avec des intercalations gréseuses, qui datent du Barrémien, Aptien, Albien et crétacé inférieur (Lafitte, 1939)

Le schiste est très répandu sur le versant Nord, mais il est très rare sur le versant Sud, et s'il existe, il est recouvert d'éboulis effrités de calcaire et de marne. Généralement, le schiste se trouve sur des pentes peu inclinées et boisées (Chêne vert ou Pin d'Alep). C'est le grès et en particulier le type ferrugineux qui forme dans la plupart des cas la roche mère principale du massif forestier du Chélia.

II. Caractéristiques pédologiques

1. Les facteurs de la pédogenèse

1.1. Généralités

Dans le contexte du Chélia, trois facteurs semblent exercer une influence considérable sur la formation et la différenciation des sols dans ce massif forestier, ce sont le type climatique (pluie, alternance climatique, dessiccation,...), la végétation et les roches mères. Quant au facteur topographique, il joue plutôt un rôle morphogénétique considérable contrecarrant ainsi, l'effet des autres facteurs pédo-génétiques (Messaadia, 2015 ; communication personnelle)

1.2. Le climat

L'alternance climatique dans cette zone (saison humide froide et saison sèche chaude), est considérée, Au plan de la dynamique des matières organiques, comme un facteur de convergence de l'humification de ces matières et cela malgré la différence des peuplements. il se développe généralement en conditions écologique normales des humus de type mull et rarement des moder- mull (amphimull) , sous l'effet de ce climat il se produit une altération géo-chimique très active des substrats minéraux (grès ferrugineux, grès blanc) et les M.O issues des peuplements forestiers assurent une plus grande solubilisation des éléments minéraux (Ben messaouda,1999 ;Bezzala,2001), il peut en résulter la formation des minéraux secondaires type argile selon des mécanismes acidolitiques et des complexes argilo-humiques très stable dans les sols

1.3. La végétation

Ce facteur biotique fournit au sol des substrats organiques de natures chimiques variables à partir de différents biosystèmes « litière, phyllosphère, rhizosphère et spermatosphère » et plus particulièrement par un effet litière. Parmi ces M.O d'origine végétale certaines sont dotées d'un potentiel énergétique élevé et servent à stimuler l'activité des organiques biologiques (µflore, faune) ; les autres à poids moléculaire plus ou moins réduit, notamment les acides, interviennent activement dans l'altération et la transformation des minéraux (Lmouadaa,2001 ; Kadi,2003). L'ensemble de ces activités dans les sols favorise, en relation avec le climat, la synthèse d'un humus stable et la formation des minéraux argileux secondaires (kaolinite, illite, mont-morrionite), en outre l'activité mécanique des systèmes racinaires et de la faune se traduit par la formation de vides de différents calibres qui améliorent la circulation de l'eau et des gaz (CO₂, O₂,...) dans les sols.

1.4. Roche mère

Il est connu qu'un sol se forme par la fragmentation physique et l'altération chimique et biochimique du matériau parental in-situ. Ainsi, le matériau initial est progressivement fragmenté et altéré ; le résultat obtenu serait un mélange de constituants initiaux inaltérables et d'autres minéraux obtenus par néoformation.

Au plan des substrats géologiques nous avons noté l'existence d'un grès blanc, d'un grès ferrugineux, de colluvions gréseuses et de substrats calcaires très faiblement distribués au sommet. Cependant le grès ferrugineux prédomine dans ce massif forestier et représente la roche mère pédologique la plus influente sur la typologie des sols dans ce massif.

La transformation de ces roches mères se fait par différents mécanismes

- Soit par l'effet du climat qui influe par l'intermédiaire de l'eau et l'énergie lesquelles provoquent des réactions chimiques ; cette eau chargée altère les minéraux primaires et induit la formation de minéraux secondaires notamment des argiles, dont l'effet est considérable sur la fertilité des sols.
- Soit par la végétation qui agit par l'intermédiaire des acides organiques et d'autres minéraux primaires telle que le grès ferrugineux qui provoque la désagrégation de la roche et libère, la silice, l'oxyde de fer et d'autres minéraux primaires

1.5. Topographie

La topographie est un facteur qui peut influencer négativement ou positivement la typologie des sols. En topographie plane, les processus de formation et de différenciation des sols prédominent ; cependant lorsque la topographie est très accidentée, ce sont plutôt les phénomènes morphogénétiques qui imposent leurs effets. Dans ces conditions, il se manifeste durant les saisons pluvieuses, des phénomènes d'érosion hydrique dont les effets sont à plus ou moins terme le décapage en nappe, le ravinement, le colluvionnement et l'éboulement des sols.

Dans le cas du massif du Chélia, le facteur topographique en raison de l'existence de fortes pentes, des hautes altitudes et de l'absence d'un couvert végétal dense a favorisé différentes formes de dégradation des sols se traduisant par la présence de sols tronqués de leurs horizons supérieurs, et par un éboulement intense qui provoque un recouvrement de la surface des sols par des blocs rocheux de nature gréseuse et de différents calibres. (plusieurs dizaines de centimètres)

2. Les processus morphogénétiques

2.1. Généralités

Les processus morphogénétiques sont très actifs au Chélia, et cela en raison de topographie accidentée, d'un climat pluvieux, et souvent de l'absence d'un couvert végétal très dense sur toute l'étendue du massif. Leurs impacts se traduisent par différentes formes de dégradation des sols notamment le décapage en nappe, l'éboulement et l'érosion ravinante

2.2. Le décapage en nappe

C'est une forme de dégradation qui se traduit par un décapage en nappe des sols suivi d'un colluvionnement des matériaux sur le long des versants à forte pente et ayant pour résultat l'apparition des sols plus ou moins tronqués de leurs horizons supérieurs

2.3. L'éboulement

C'est un phénomène très intense lié à l'érodabilité des grès, qui se traduit par l'accumulation sur les sols des blocs rocheux de différents diamètres ; cela donne un aspect général d'éboulis et de lithosols

2.4. L'érosion ravinante

Il s'agit d'un phénomène d'érosion en griffe provoqué par un ruissellement important mais qui est aussi liée à une lithologie tendre (argile) ; ceci est manifeste dans les zones déboisées et celles où le surpâturage est très fréquent et provoque d'une part la disparition de la couverture végétale herbacée et d'autre part le tassement des sols. Cependant, une faible érosion est observée sur les versants à pente modérée et plus ou moins couverts de maquis de chêne vert.

3. Les processus pédogénétiques

3.1. Généralités

Dans le massif forestier du Chéla, les sols, du fait d'un premier processus pédo-génétique, ce sont différenciés durant les phases préliminaires et cela en fonction exclusivement de la roche mère et du climat mais l'avènement durant une phase postérieure de la forêt et plus précisément une couverture végétale dense de type forestier a induit un second processus de formation des sols. Quand on prend en considération des critères morphologiques des sols du Chéla, on constate d'une part la prédominance d'une couleur rouge des horizons inférieurs (B,C) et d'une couleur rouge et brun rougeâtre des horizons supérieurs (A,AB,..) des sols et d'autre part des horizons minéraux plus ou moins enrichis en éléments fins vraisemblablement de type argiles 2/1. Sur la base de telles caractéristiques morphologiques nous pouvons suggérer que différents processus pédogénétiques ont présidé à la formation et l'évolution des sols du massif forestier du Chéla, ce sont la fersialitisation, la brunification, le lessivage et la carbonatation quoique peu prononcés.

3.2. La fersialitisation

C'est un processus pédologique ancien qui s'est produit avant l'apparition de la couverture forestière ; c'est un cycle long que résulte d'un mécanisme d'altération des minéraux par les facteurs physico-chimiques sans aucune influence des M.O.

Ce phénomène pédogénétique est reconnaissable au Chélias sur la base des éléments suivants :

- Roches mères à dominance de gréseuse (Grés ferrugineux, grés blanc)
- Climat subhumide à saisons contrastées
- Couleur rouge des horizons, rubéfaction
- Individualisation des oxydes de fer (hématite ?)
- Néof ormation d'argiles 2/1.

3.3. La brunification

C'est un processus fortement lié à l'influence des M.O (forêt) qui résulte d'un mécanisme d'altération biochimique des minéraux préexistants mais relativement court au plan temporel, on le reconnaît sur les critères suivants

- La couverture forestière cédraie, cédraie-chênaie, parcours
- Présence d'humus mull de couleur foncée et bien structuré (structure grumeleuse fine)
- Absence de substrat calcaire (existence de grés acides)
- Climat tempérée plus ou moins humide en hautes altitudes
- Matériau riche en fer et en argile

3.4. Le lessivage des sols

Ce processus pédogénétique, qui est dit secondaire et se manifeste dans les sols à travers l'existence de deux horizons A2 (horizon éluvial lessivé) et B2t (horizon d'accumulation d'argile). Ce trait pédogénétique se produit lorsque deux conditions écologiques sont réunies et il se caractérise au niveau des sols par l'existence d'horizon illuviaux B2t enrichi en argile par lessivage

- Climat pluvieux en altitude
- Roche mères (grés) filtrantes
- Existence d'horizon illuviaux B2t riche en argiles (revêtement argileux)

3.5. La carbonatation

Elle est manifeste sur les roches mères calcaires mais elle est cependant très peu prononcée dans le massif du Chélie et ce en raison de la faible fréquence de ces substrats carbonatés, on reconnaît ce processus à travers l'existence de roches mères calcarifères, d'horizon A foncés bien structurées et d'une faible altération des minéraux primaires issus des matériaux parentaux.

4. Les principaux types de sols

4.1. Les sols fersialitiques brunifiés

Ils sont développés sous les peuplements de cèdre et de chêne sur les grès ferrugineux et possèdent un profil de type A.B.C en particulier sur les replats structuraux au niveau des talus des pistes. Leurs horizons A sont de couleur brun à brun rougeâtre et l'horizon B est rouge à rouge jaunâtre, cependant, leurs profils sont tronqués de leurs horizons supérieurs ou bien que ces horizons sont recouverts de blocs de différentes tailles sur les versants à fortes pentes, ce sont les effets de l'érosion en nappe des sols et d'érosion en masse l'éboulement.

4.2. Les lithosols

Ce sont des sols peu évolués d'érosion qui sont situés en hautes altitudes et qui supportent quelques pieds de cèdre mais surtout une végétation basse constituée de genets, c'est le résultat de décapage en nappe d'anciens sols ou bien d'une faible évolution de ces matériaux sous l'action de facteurs climatiques.

4.3. Des sols peu évolués d'apport colluvial (sols colluviaux)

Ce sont des sols qui sont développés sur les bas des versants à pente plus ou moins prononcée et qui résultent de l'accumulation des matériaux colluvions par les eaux de ruissellement. Ils se caractérisent par des horizons A plus ou moins brunifiés mais chargés d'éléments grossiers, et possèdent un profil de type AC

4.4. Des sols brun calcaires

Ce sont des sols développés sous les peuplements sur des substrats calcaires très durs. Ils sont de profil ABC mais très faiblement représentés à l'échelle de la zone prospectée.

III. Caractéristiques floristiques

1. Les espèces indicatrices de la zone d'étude

Dans la zone d'étude, le couvert forestier est constitué en grande partie de cèdre, à un degré moindre d'un mélange cèdre –chêne vert, et d'un mélange Cèdre-genévrier rouge beaucoup moins important que les deux précédents.

La végétation du haut Chélia est en général une Cédraie pure ou une Cédraie- Chênaie; le Cèdre en étage principal, et le Chêne vert en sous étage.

La régénération naturelle n'est pas rare, mais elle n'est pas suffisante; elle est souvent située dans les trouées, sous les semenciers, et même sous Chêne vert.

D'après Boudy (1950), et GP Aurès (1982), le faciès sec du Cèdre de l'Atlas comme celui des Aurès se caractérise par les espèces suivantes:

- Chêne vert (*Quercus ilex*).
- Pin d'Alep (*Pinus halepensis*).
- Genévrier oxycèdre (*Juniperus oxycedrus*).
- Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*).
- Frêne dimorphe (*Fraxinus dimorpha*).
- L'if (*Taxus baccata*).
- Le diss (*Ampelodesma mauritanica*).
- L'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*, L).
- Le sorbier (*Sorbus aria*).
- Aubépine laciniée (*Grataegus laciniata*).
- Aubépine monogyne (*Grataegus monogyna*).

- *Pirus longipes*.
- *Cytisus balancae*.

2. Etagement de la végétation

D'après Schoenberger (1970), le Cèdre est soit sans le chêne vert (altitude 2200- 2000 m), soit avec le Chêne vert (2000- 1600 m) en station fraîche, soit rarement avec le Genévrier thurifère en station sèche.

La cédraie à chêne vert représente les peuplements les mieux venants du massif et elle est composée de plusieurs variations écologiques selon l'altitude, la pente, l'exposition, le sol, le régime hydrique (GP Aurès ONTF, 1982).

On rencontre 05 principaux types de peuplements dans le massif forestier de Chélia en fonction de l'altitude :

- Les pelouses de haute montagne (de 2100 à 2328m).
- La cédraie pure de haute montagne (1800 à 2100m).
- La cédraie à chêne vert (1600 à 1800m).
- Le chêne vert (1500 à 1600m).
- La pinède à chêne vert (1200 à 1500m).

IV. Caractéristiques climatiques

Le climat joue un rôle essentiel dans la répartition de la végétation, dans notre zone d'étude, les données climatiques ont été prélevées au niveau de la station météorologique d'El Hamma (Khenchela). Les données portent sur une période de 20 ans (1995-2014).

Cette station, la plus proche de notre zone d'étude, dispose des données complètes et récentes, indispensables à notre étude.

Afin de caractériser le climat de la zone d'étude, nous avons procédé à une extrapolation des données existant au niveau de la station d'El hamma Khenchela.

1. Les précipitations

Sachant naturellement que la disponibilité en eau est le premier des facteurs du milieu qui contrôlent la croissance des arbres, nous considérons que l'étude du facteur climatique pluie (étude quantitative périodique mensuelle saisonnière et annuelle) nous oriente et nous permet de comprendre l'évolution et le comportement temporels du végétal.

Tableau 1 : Précipitations mensuelles moyennes enregistrées de la station d'El hemma pendant la période 1995-2014

Mois	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	AN
P (mm)	40.4	47.22	29.7	42.38	47.48	59.24	31.09	15.4	38.11	59.44	36.6 9	37.78	484.9 5

Selon Seltzer (1949), la pluviométrie augmente au fur et à mesure qu'on s'élève en altitude et que les versants Nord sont plus pluvieux que les versants sud. De ce fait ; il a préconisé une élévation de 40 mm pour 100 m d'altitude sur les versants Nord et 20 m pour les versants Sud.

Les calculs d'extrapolation réalisés pour les besoins de notre étude et qui concernent les différentes altitudes sont estimés comme suit (tableau 2)

Tableau 2: Précipitations moyennes annuelles après extrapolation en fonction de l'altitude.

Précipitation (mm)	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sept	Oct.	Nov	Total
982.5 m	40.4	47,22	29,7	42,38	47,48	59,24	31,09	15,4	38,11	59,44	36,69	37,78	484,95
1800 m	67,64	79,06	49,72	70,95	79,49	99,18	52,05	25,78	63,8	99,52	61,42	63,25	811,92
2000 m	74,30	86,84	54,62	77,94	87,32	108,95	57,18	28,32	70,09	109,32	67,48	69,48	891,91
Somme saisonnière	Hiver : 117.32			Printemps:149.1			Été : 84.6			Automne : 133.91			484.95
Moy. Saisons %	24.19			30.75			17.45			27.61			100
Type	H			P			E			A			PAHE

D'après ce tableau, il ressort que les précipitations sont relativement abondantes en automne et au printemps et présentent un maximum au mois de Septembre avec (99,52 et 109,32) mm de pluie ; l'hiver est encore plus pluvieux et présentent le maximum en mois de Janvier avec (79,06 et 86.84) mm, Il est observé que l'été est la saison la moins pluvieuse, on remarque que les mois d'Août et de Juin sont encore assez pluvieux et une nette baisse est obtenue au mois de Juillet avec (25.78 et 28.32).

On constate que le régime saisonnier des pluies est de type P.A.H.E, caractérisé par une pluviométrie printanière plus importante de 149.1mm, une pluviométrie moyenne automnale et hivernale de (133.91 et 117.32) mm et en fin les précipitations en saison estivale sont les plus basses avec 17.45 mm seulement.

2. Les températures

La température est considérée comme l'un des facteurs les plus déterminants de la présence, de l'évolution, du développement et de la répartition des végétaux.

Chaque espèce présente exige un seuil minimum et un seuil maximum au-delà desquels il ne peut survivre. Selon Ramade (1984), la survie du végétal est déterminée par ces seuils entre lesquels il se maintient en vie.

Les températures maximales, minimales et moyennes des données fournies par la station météorologique d'El hamma sont mentionnées dans le tableau 3.

Tableau 3 : Températures minimales, maximales, et moyennes mensuelles en C° station d'El hamma (1995-2014)

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Moy
T moy	7.02	7.59	10.63	13.86	18.45	23.61	27.19	26.63	21.78	16.68	11.42	7.71	16.04
T min	2.8	3.3	5.33	8.07	11.88	16.53	19.64	19.41	15.97	11.39	6.84	3.5	10.38
T max	11.25	12.15	15.93	19.65	25.02	30.70	34.75	33.84	27.59	21.97	16.00	11.92	21.73

Les températures diminuent de 0.4°C pour chaque 100 m d'altitude (pour les minima du mois le plus froid) et de 0.7°C pour la même altitude pour les maxima du mois le plus chaud (Seltzer, 1946).

Les températures moyennes mensuelles sont extrapolées, en fonction de l'altitude et reportées dans le tableau 4

Tableau 4: Températures moyennes mensuelles extrapolées en fonction de l'altitude de la station d'El hamma (1995-2014)

Altitude	janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
982.5m	7.02	7.59	10.63	13.86	18.45	23.61	27.19	26.63	21.78	16.68	11.42	7.71	16.04
1800 m	2,53	3,09	6,13	9,36	13,95	19,12	22,70	22,13	17,28	12,18	6,92	3,21	11.62
2000 m	1,43	1,99	5,03	8,26	12,85	18,02	21,60	21,03	16,18	11,08	5,82	2,11	10.45

L'analyse au préalable des données thermiques mentionnées dans le tableau 4, montre que les températures moyennes maximales sont enregistrées en mois de Juillet avec (22.7 et 21.03°C) ; alors que le mois le plus froid est le mois de Janvier avec des températures moyennes (2.53 et 1.43°C)

Amplitude thermique

L'amplitude annuelle maximale est la différence entre la température moyenne maximale du mois le plus chaud et la température moyenne minimale du mois le plus froid. Elle exprime selon Emberger (1971) la continentalité, l'humidité atmosphérique et l'intensité de l'évaporation.

Ces amplitudes qui diminuent avec l'altitude, jouent avec l'humidité un rôle principal dans la désarticulation des cônes.

Par ailleurs, Debrach (in M'hirit, 1982) a défini deux types de climat en utilisant l'amplitude annuelle maximale (M-m) et la température moyenne annuelle ($M+m / 2$).

- Climat de type M - m

$M-m < 15 \text{ °C}$ climat insulaire

$15 \text{ °C} < M-m < 25 \text{ °C}$ climat littoral

$25 \text{ °C} < M-m < 35 \text{ °C}$ climat semi- continental

$M-m > 35 \text{ °C}$ climat continental

- Climat de type $M + m / 2$

$M+m/2 > 20 \text{ °C}$ climat chaud

$15 \text{ °C} < M+m/2 < 20 \text{ °C}$ climat modéré

$10 \text{ °C} < M+m/2 < 15 \text{ °C}$ climat froid

$M+m/2 < 10 \text{ °C}$ climat très froid

Selon la classification de Debrach, le massif du Chélia correspond au climat de type semi- continental (M-m est de 29.5 °C) à hiver froid ($M+m/2$ est de 14.28°C).

3. Autres facteurs climatiques

- **La neige**

La neige est une forme de précipitation et un apport important d'eau qui permet au sol de constituer une réserve. Cette eau permet aux plantes de survivre à la sécheresse estivale.

Selon Khanfouci (2005), la neige joue un rôle important dans la désarticulation des cônes, la levée de la dormance, la protection des semis contre les basses températures et l'alimentation hydrique des peuplements.

Dans notre zone d'étude, la période d'enneigement, en raison de l'altitude élevée, est plus importante que dans les vallées et les plaines. Compte tenu des perturbations climatiques constatées pour l'ensemble de la terre, nous avons noté une régression des périodes d'enneigement maximales allant de 20 jours/an (B.N.E.F, 1986) à 15 jours/an maximum (in Bensid, 1996), étalées entre le mois de janvier et le mois de mars. La durée d'enneigement varie de 10 à 15 jours par an.

- **Les gelées**

Les gelées se manifestent à des températures inférieures à 0°C et pendant une longue période, allant du mois de Novembre jusqu'au mois d'Avril avec une fréquence de 38 jours par an. Les gelées tardives sont fréquentes dans la région semi- aride et elles causent de graves dégâts aux jeunes pousses. Concernant le Cèdre, les gelées jouent un rôle important dans la désarticulation des cônes (Toth, 1978).

- **Le vent**

Bien que son action mécanique soit limitée, le vent peut constituer dans certains biotopes un facteur écologique limitant. Il modifie les valeurs des autres agents climatiques comme la température, l'humidité relative et l'humidité du sol, l'évaporation et la transpiration. Dans la région de Chélia, les vents dominants sont de deux directions:

- Sud- Ouest (secs et chauds). Ils surviennent au mois de Juillet, favorisent l'évapotranspiration et causent le dessèchement des jeunes pousses,

- Nord- Ouest, fréquents en Automne, ils sont caractérisés par la pluviosité et la vitesse qui peut atteindre 7.5 m/s.

4. Détermination des indices climatiques

De nombreux indices et formules ont été élaborés pour caractériser le climat d'une région. Ils font intervenir essentiellement les températures et la pluviométrie.

En région méditerranéenne, le climagramme de GAUSSEN et BAGNOULS et le diagramme d'EMBERGER sont souvent utilisés.

4.1. Diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme Ombrothermique est une représentation graphique obtenue par la superposition des deux courbes de variation annuelle des précipitations et des températures. Cette représentation fait ressortir les mois secs dans l'année. Pour GAUSSEN un mois est sec si $P < 2T$.

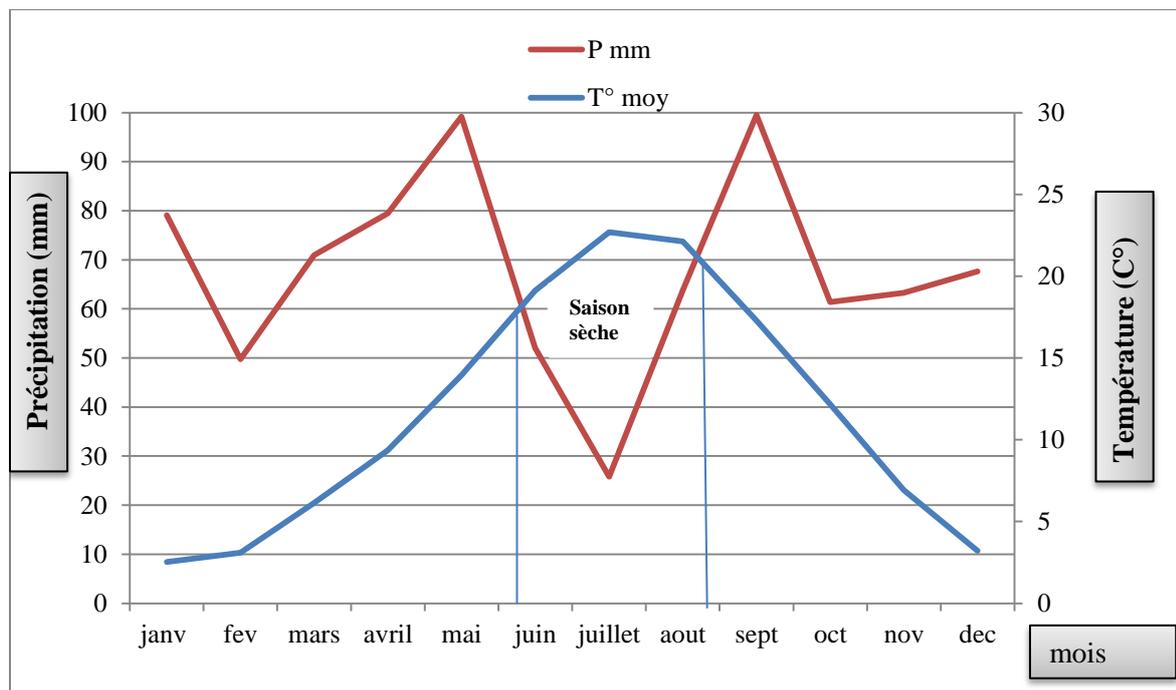


Figure 6 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la région de Chélia (altitude 1800 m).

D'après le diagramme ombro-thermique de Gaussen et Bagnouls la période sèche dans notre zone d'étude s'étale sur une durée de 03 mois (mois de Juin à mois d'Août)

4.2. Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviothermique d'Emberger (Q_2) est déterminé par la combinaison de trois paramètres climatiques.

Il est donné par la formule suivante : $Q_2=2000 \times P / M^2 - m^2$

Cette formule peut s'écrire selon Stewart (1969) avec une erreur négligeable de la manière suivante:

$$Q_2 = 3.43.P/M-m$$

Avec :

P = pluviométrie annuelle en mm/an.

M=Moyennes des températures maximales du mois le plus chaud en degrés Celsius.

m= Moyennes des températures minimales du mois le plus froid en degrés Celsius.

L'estimation du quotient pluvio-thermique d'après le climagramme d'EMBERGER nous permet de ressortir l'étage bioclimatique qui caractérise notre zone d'étude.

Tableau 5 : Evaluation du Quotient pluviométrique et des étages bioclimatiques de la zone d'étude.

Station		P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q ₂	Etages bioclimatiques de la végétation
1800 m	Versant Nord	811.95	29.03	-0.47	94.04	<i>Sub Humide à hiver froid</i>
	Versant Sud	648.45			75.39	
2000 m	Versant Nord	891.95	27.69	-1.27	105.64	<i>Humide à hiver froid</i>
	Versant Sud.	688.45			81.53	<i>Sub Humide à hiver froid</i>

D'après les valeurs de Q_2 mentionnées dans le tableau 5, bioclimatiquement la zone d'étude se trouve dans les étages sub- humide à hiver froid à 1800 m d'altitude et Humide à hiver froid à 2000 m d'altitude en versant nord.

Chapitre II :

Matériels et

méthodes

I. Démarche et méthodologie utilisée

1. Points généraux de la démarche d'étude

Dans le but d'effectuer une étude typologique et cartographique des stations forestières, la démarche adoptée est celle préconisée par la Commission « Méthodologie » du groupe de travail « Typologie des stations forestières » (Rameau, 1987 ; Brethes, 1989).

Cette méthode comporte les étapes suivantes

- 1 - Choix et délimitation des stations d'étude
- 2 - Echantillonnage et installation des placettes
- 3 - Nature des mesures à effectuer au niveau des placettes
- 4 - Analyse physico-chimique des échantillons de sols
- 5 - Analyse des aiguilles d'arbres
- 6 - Calcul des paramètres dendrométriques
- 7 - Réalisation de la carte des stations forestières, (par SIG)

2. Méthodologie expérimentale

2.1. Choix des stations d'étude

Suite à nos multiples sorties de reconnaissance puis de prospection sur terrain, et tout en tenant compte des facteurs suivants dominants dans notre zone d'étude, tels que l'exposition, l'altitude et les formations végétales, obéissant à des combinaisons écologiques que nous essayerons d'expliquer plus loin, il nous été possible de dégager quatre stations.

Pour de plus amples information, les facteurs retenus présentent les caractéristiques suivantes :

- L'exposition: versants sud et versant nord ;
- L'altitude selon des tranches de 200m
- La formation végétale : cédraie pure et cédraie-chênaie.

2.2. Choix du système d'échantillonnage et installation des placettes

Dans chaque station, trois placettes ont été installées de forme circulaire et d'une superficie de 10 ares selon un échantillonnage subjectif. C'est-à-dire aléatoire dirigé. Ce dernier est plus simple et plus délicat pour caractériser les types de stations, c'est une méthode de reconnaissance adaptée à tout type de formation végétale (Gounot, 1969), cet échantillonnage permet également d'obtenir une qualité d'information quasi identique à celle

fournie par l'échantillonnage systématique (Hadjadji, 1996 ; Oulmouhoub et Laboudi ,1999 in Belouahem, 2012). Il permet de fournir une image complète (qualitativement et quantitativement) de l'objet étudié. L'échantillonnage subjectif suffit en effet pour choisir des échantillons représentatifs et homogènes (Gounot 1969).

2.3. Détermination de la nature des mesures à effectuer aux sites d'étude

L'échantillonnage ainsi que les mesures, que nous avons effectuées sur le terrain constituant qui sont des phases indépendantes et complémentaires sont déterminantes pour notre étude.

La méthodologie générale adoptée et pratiquée consiste en :

- La première étape concernant le relevé des données ayant trait à la localisation des stations, leur altitude, la pente, l'exposition et le type de végétation (espèces dominantes, étage, recouvrement...).
- L'étape ayant trait aux mesures dendrométriques des plants de cèdre rencontrés dans les placettes. A ce titre nous considérons que :
Ht : La hauteur totale : La circonférence à 0.30m du sol, C1.30, La circonférence à 1.30m du sol, La circonférence à mi-hauteur total ont été mesurés au compas forestier, relascope de BITTERLICH
- L'étape consiste à l'ouverture des fosses pédologiques, pour le prélèvement des échantillons et la description du sol pour chaque horizon ainsi que le prélèvement des aiguilles et des branches

Une fois le lieu d'implantations des profils choisis, les informations stationnelles suivantes sont notées : Numéros du profil, l'altitude, la localisation (sur une carte topographique), pente, géomorphologie (haut versant, mi- versant, bas versant), (texture, structure, porosité, profondeur, test a l'HCl, approche de la décarbonatation, du degré d'altération), et avec l'évaluation de l'activité biologique via la description de l'humus

Des échantillons de sol ont été prélevés (en commençant le prélèvement du bas en haut), et placés dans des sacs en plastique étiquetés.

Quatre profils ont été choisis dans les quatre différentes stations

En ce qui concerne l'étude éco-physiologique du cèdre, nous avons prélevé (selon la méthode Bonneau, 1988), les aiguilles et les branches provenant d'une dizaine d'arbres environ.

A retenir que ces prélèvements ont été réalisés au début du mois de novembre.

II. Analyse physico-chimiques et calcul des paramètres dendrométriques

1. Analyse physico-chimiques et foliaire des échantillons du sol et aiguilles prélevées

Les échantillons de sol prélevés sont séchés à l'air libre, tamisés à 2 mm et conditionnés dans des boîtes étiquetées.

Les aiguilles et les branches sont séchées à l'air libre, broyées et conditionnées dans des sacs en plastiques étiquetés

Les méthodes retenues pour l'étude physique et physico-chimiques des échantillons de sols et foliaires que nous relèverons, ont été effectuées au niveau du laboratoire du département des sciences agronomique de l'université de Batna.

- Analyses physico-chimiques du sol

- **Granulométrie** : Méthode de la pipette de Robinson
- **Mesure du pH** : à l'aide d'un pH-mètre
- **Dosage du calcaire total (CaCO₃)** : à l'aide du Calcimètre de BERNARD
- **Le carbone organique** : par la méthode ANNE (1945)
- **Dosage de l'azote total** : par la méthode de KJELDAHL.
- **Détermination de la capacité d'échange cationique** : par la méthode de METSON.
- **Dosage du phosphore** : par spectrophotométrie colorimétrique.

- Analyse végétale

- **Phosphore foliaire** : par la méthode de Calcination
- **Azote foliaire** : par la méthode de KJELDAHL
- **Potassium foliaire** : par la méthode de calcination

2. Calcul des paramètres dendrométriques et interprétation des résultats

Variabes dendrométriques calculées :

➤ La circonférence moyenne

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

$$\bar{C} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n C_{1.30} (cm)$$

N : Nombre d'arbres de la placette

$C_{1.30}$: La circonférence à 1.30 m

- **Le diamètre de l'arbre de surface terrière moyenne (Dg) :** Il correspond à la racine carrée du rapport entre la moyenne quadratique des diamètres, obtenue «en additionnant les carrés des diamètres», et le nombre d'arbre de la placette.
- **La hauteur moyenne :** Elle représente la moyenne arithmétique des hauteurs. Elle est calculée par la formule :

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

N : Nombre des arbres de la placette

- **La surface terrière (G/ha) :** Elle est calculée à partir de la somme des sections à 1.30 m du sol de tous les arbres sur pieds à l'hectare, ordinairement exprimée en m² par rapport à une unité de surface :

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

- Ci : Circonférence de l'arbre à 1.30 m du sol et

- S : Surface de la placette en ares. C'est un excellent critère de densité du peuplement et donc à la fois du volume sur pieds (M'hirit, 1982).

- **La densité de la placette :** Ce paramètre représente le nombre de pieds par hectare et dépend surtout de la superficie de la placette.

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

- N : Nombre de pieds

- S : Surface de la placette en ares

- **Le volume :** Mien Tran et al, (2007) ont adopté la formule suivante

$$V = (\Pi * dm) / 4 * L$$

où : L = longueur de la pièce

dm = diamètre médian.

III. Méthode SIG et approche statistiques

1. Méthode statistique d'interprétation des résultats

Pour l'interprétation de nos données physiques et analytiques nous avons employé la méthode statistique d'analyse de la variance (ANOVA) ; cette approche nous permet d'une part d'établir les relations pouvant exister entre le type de station (altitude, exposition et formation végétale) et les caractéristiques pédologiques, dendrométriques et éco-physiologiques et d'autre part d'effectuer un classement des stations de cèdre selon leurs potentiels productifs.

2. Méthode SIG de cartographie des stations forestières

Dans le but de réaliser et de finaliser notre étude par un travail cartographique utilisable sur le terrain nous nous sommes servi de la méthode dite « système d'information géographique (SIG) ;

Afin de réaliser notre carte de végétation, nous avons choisi l'image Google Earth comme fond cartographique car, d'une part c'est la plus récente et d'autre part, elle fournit une haute résolution qui permet la distinction entre les différentes entités forestière dans ce massif.

La méthode utilisée dans l'étude cartographique des stations passe par un certain nombre d'étapes (figure 5)

- 1- Etablissement des cartes à paramètre topographique (pente, exposition et altitude) à partir d'un modèle numérique de terrain(MNT),
- 2- Etablissement de la carte des groupements forestiers en utilisant le traitement de l'image satellitaire (LAND SAT 2009) ;
- 3- Croisement des couches thématiques en utilisant le logiciel arc gis 9.2 ;
- 4- Génération de la carte des stations forestières qui comporte les indications suivantes :
 - Localisation administrative ;
 - Géo-référencié (coordonnées longitude-latitude, WGS84) ;
 - Surface ; Altitude ; Exposition ; Pente ;
 - Végétation cédraie pure, cédraie-chênaie;
 - Carte de station.

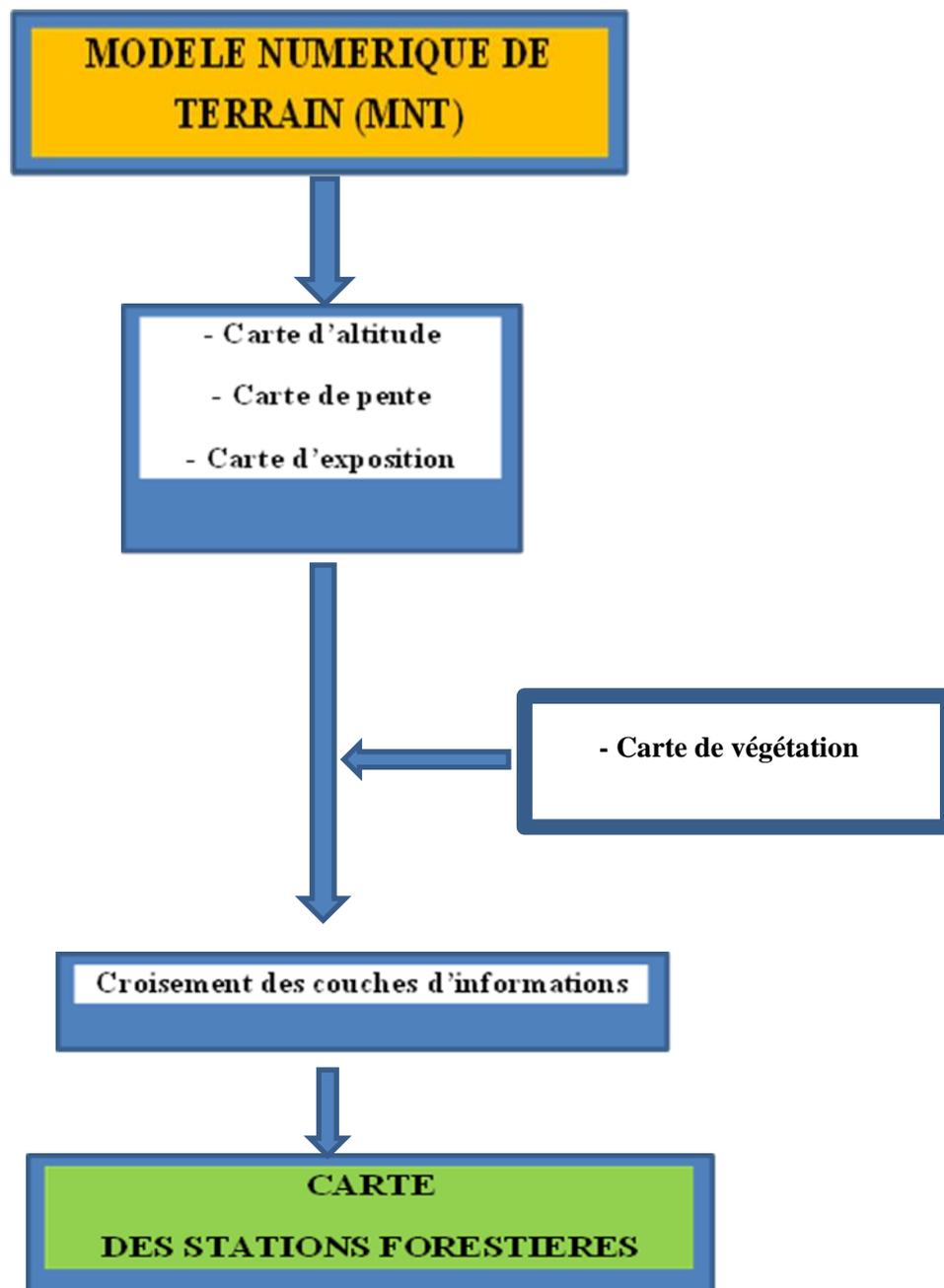


Figure 8 : Représentation schématique de la méthodologie de construction de la carte des stations forestières (Martin, 2000).

Chapitre III :
Résultats et
discussions

I. Inventaire et typologie des stations

Cette étude des stations, basée sur la caractérisation des trois composantes indissociables : la végétation forestière, l'humus à travers sol et le microclimat (exposition, altitude), révèle l'existence de 4 stations différentes sur le plan écologique :

- **Station I** : La cédraie mono spécifique du versant nord entre 1700 et 1900 m d'altitude
- **Station II** : La cédraie mono spécifique du versant sud entre 1700 et 1900 m d'altitude
- **Station III** : La cédraie-chênaie du versant nord entre 1700 et 1900 m d'altitude
- **Station IV** : La cédraie mono spécifique du versant nord entre 1900 et 2100 m d'altitude

1. Station I : La cédraie mono spécifique du versant sud 1700 - 1900 m d'altitude aspects morphologiques



Figure 9 : Photographie représentant la cédraie mono-spécifique du versant Sud.

1.1. Caractéristiques stationelles

- Exposition : Sud
- Altitude : 1886 m
- Pente : 25 %
- Roche mère : Grés ferrugineux et grés blanc

1.2. Caractéristique floristiques

- **Strate arborée** : Cedrus atlantica ,
- **Strate arbustive** : Juniperus oxycedrus
- **Strate herbacée**
 - Asphodelus microcarpus
 - Bupleurum spinosum
 - Euphorbia biglandulosa
 - Artemisia campestris L.

1.3. Caractéristiques pédologiques

Le sol contient dans sa totalité de A jusqu'à C des cailloux gréseux avec un pourcentage qui varie d'un horizon à un autre particulièrement dans les horizons AC et C ou le pourcentage est de 40%

A11 : 0 – 12 cm brun, mull eutrophe, argilo-limoneux, structure grumeleuse fine, friable, poreux, bonne activité biologique, système racinaire dense racines fines, absence d'effervescence à HCL, transition diffuse
A12 : 12 – 28 cm brun, argileux, structure grumeleuse, consistance moyenne, poreux, activité biologique bonne à moyenne, système racinaire dense, racines verticales et horizontales, absence d'effervescence à HCL, transition nette.
AC : 28 – 48 cm jaune ocre, matrice à texture argileuse, structure polyédrique, assez consistant, activité biologique faible, quelques racines verticales, absence d'effervescence à HCL, caillouteux, transition diffuse.
C > 48 cm, limono- argileux, structure polyédrique, consistant, peu poreux, activité biologique très faible, absence de système racinaire, effervescence à HCL nulle cailloux gréseux, transition diffuse.

-Classification du sol : Sol peu évolué d'apport colluvial ou bien d'apport colluvial brunifié (Duchauffour, 1988) ou « colluviosol » (R.P.F, 1995) avec une charge caillouteuse
-Processus pédogénétique : brunification, colluvionnement important Aspect de surface



Figure 10: Photographie présentant le profil pédologique de la station 1

L'analyse physico-chimique et physico-hydrigue du sol de la station 1 attribut les résultats suivants

Tableau 6 : Analyse physico-chimique et physico-hydrigue du sol de la station 1

Horizon et épaisseur	HA11 0-12 cm	HA12 12-28 cm	AC 28-48 cm	C >48 cm
Argile %	34.54	37.07	39.89	45.45
Limon %	45.53	42.49	39.76	35.43
Sable %	19.93	20.14	20.35	19.12
pH	7.2	7.45	7.2	7.27
P ppm	15.8	15.8	15.8	21.26
C %	6.54	3.9	3.9	3.45
MO %	11.24	6.7	6.7	5.93
CaCo3 %	0	0	0	0
N %	0.35	0.28	0.25	0.19
C/N	18.68	13.92	15.6	18.15
CEC	21.6	19.2	17.62	14.46
K+	1.57	0.85	0.95	1.31
Na+	0.32	0.32	0.32	0.32
Capacité de rétention %	46.49	36.01	34.34	32.39

1.4. Caractéristiques dendrométriques des cèdres

Les placettes étudiées dans cette station, permettant d'obtenir les estimations suivantes.

Tableau 7: Caractéristiques dendrométriques de la station 1

Dm (cm)	Dg (cm)	Hm (m)	G/ha (m ² /ha)	D/ha (arbre/ha)	V (m ³ /ha)
28.14	31.6	9.5	29.36	363	30.61

2. Station II : la cédraie mono-spécifique sur versant nord tranche altitudinale 1700-1900 m- aspects morphologiques



Figure 11 : Photographie de la station 2

2.1. Caractéristiques stationnelles

- Localisation : Mont de Chélia
- Exposition : nord
- Altitude : 1877 m
- Pente : 15 - 20 %
- Roche mère : Grés blanc
- Végétation : Vieille futaie monospécifique à Cèdre de l'Atlas. Sous-bois de graminées.

2.2. Caractéristiques floristiques

- **Strate arborée** : *Cedrus atlantica*,
- **Strate arbustive** : *Juniperus oxycedrus*
- **Strate herbacée**
- *Asphodelus microcarpus*
- *Artemisia campestris* L.
- *Cynodon dactylon*
- *Ampelodesmos mauritanicus*

2.4. Caractéristiques pédologénétique, analytiques et morphogénétiques

On rencontre dans cette cédraie, des sols colluviaux AC et des sols fersialitiques brunifiés.

Il semble que le sol climax dans cette station de cèdre et un sol fersialitique brunifié mais le phénomène de l'érosion a provoqué soit à un décapage des horizons soit à leurs dégradations.

A : 0-20 cm marron, mull calcique, texture limono- argileuse, structure grumeleuse grossière à fine, friable à l'état humide, poreux, bonne activité biologique, existence des débris organiques, système racinaire dense, absence d'effervescence à HCL, transition nette.

B11 : 20 – 45 cm marron ocre, argileux, structure polyédrique, très consistant, peu poreux, activité biologique faible, absence de racine, absence d'effervescence, transition nette.

B12 : 45 – 70 cm jaune ocre, argileux, structure prismatique, très consistant, peu poreux, activité biologique faible, absence de racine, absence d'effervescence, transition nette.

C > 70 cm matrice jaunâtre avec des cailloux gréseux couleur claire, argilo- limoneuse, structure polyédrique à prismatique, cohérent, peu poreux, activité biologique faible, absence de racine, absence d'effervescence, transition nette

-Classification du sol : D'après Duchaufour 1988 ; sol fersialitique brunifié, brunification due à la couverture forestière

-Processus pédo-génétique : fersialitisation et brunification, colluvionnement.

-Aspect de surface : Charge en cailloux



Figure12 : photographie représentant le profil pédologique de la station 2

L'analyse physico-chimique et physico-hydrigue du sol de la station 2 attribut les résultats suivants

Tableau 8 : Analyse physico-chimique et physico-hydrigue du sol de la station 2

Horizon et épaisseur	A 0-20 cm	B11 20-45 cm	B12 45-70 cm	C >70 cm
Argile %	22.72	29.72	33.83	37.77
Limon %	56.99	50.45	44.24	41.72
Sable %	20.29	19.83	21.97	20.51
pH	7.5	7.56	7.3	7.26
P ppm	32.16	15.8	15.8	10.35
C %	5.77	3.6	3.9	3
MO %	10.27	6.4	6.94	5.34
CaCo3 %	0	0	0	0
N %	0.33	0.26	0.21	0.16
C/N	17.48	13.84	18.57	18.75
CEC	30.88	26.42	16.32	13.6
K+	2.55	1.52	1.36	0.79
Na+	0.48	0.48	0.32	0.32
Capacité de rétention %	51.29	38.84	35.5	27.5

2.3. Caractéristiques dendrométriques des cèdres

Les placettes étudiées dans cette station, permettant d'obtenir les estimations suivantes.

Tableau 9: Caractéristiques dendrométriques de la station 2

Dm (cm)	Dg (cm)	Hm (m)	G/ha (m ² /ha)	D (arbre/ha)	V (m ³ /ha)
27.02	31.99	9.7	30.3	380	37.22

3. Station III : la cédraie- chénaies du versant nord - aspects morphologiques



Figure 13 : Photographie représentant la station 3.

3.1. Caractéristiques stationnelles

- Localisation : mont de Chélia
- Exposition : versant Nord
- Altitude : 1867 m
- Pente : 10-15%
- Roche mère : Grés ferrugineux
- Végétation : Vieille futaie de Cèdre en mélange avec le chénaie Sous-bois de graminées.

3.2. Caractéristiques floristiques

- **Strate arborée** :- Cedrus atlantica, - Quercus ilex
- **Strate arbustive** : Juniperus oxycedrus
- **Strate herbacée**
 - Thapsia garganica
 - Euphorbia biglandulosa
 - Cynodon dactylon
 - Ampelosedmos mauritanicus

3.3. Caractéristiques morphologiques, analytiques et pédogénétiques

Dans cette cédraie, le profil pédologique présente les caractéristiques morphologiques suivantes

A : 0 – 15 cm mull eutrophe, brun, argilo-limoneux, structure grumeleuse fine, consistance moyenne, poreux, bonne activité biologique, racines moyennes verticales, pas d'effervescence à HCl, petits cailloux, transition nette.

B : 15-32 cm brun à brun rougeâtre, argilo-limoneux, structure grumeleuse grossière à moyenne, friable, poreux, bonne activité biologique, existence de quelques racines, pas d'effervescence à HCl, quelques cailloux, transition nette.

BC : 32- 75 cm brun rougeâtre, matrice argileuse, structure grumeleuse grossière à moyenne, cohérent, poreux, bonne activité biologique, existence de quelques racines, pas d'effervescence à HCl, cailloux 30%, transition nette.

C >70 cm brun jaunâtre, matrice argileuse, polyédrique, cohérent, faiblement poreux, racines fines verticales, activité biologique très faible, effervescence absente, cailloux 50 % transition nette.

Pédogenèse et classification du sol :

- Profil de type A.B.C

-Processus pédo-génétiques : fersialitisation, brunification- colluvionnement

-Types de sol : sol fersialitique brunifié-sol colluvial plus ou moins brunifié (Duchaufour ;2003)



Figure 14 : Photographie représentant le profil pédologique réalisé dans la station 3

L'analyse physico-chimique et physico-hydrrique du sol de la station 3 attribut les résultats suivants

Tableau 10 : Analyse physico-chimique et physico-hydrrique du sol de la station 3

Horizons et épaisseurs	A 0-15 cm	B 15-32 cm	BC 32-75 cm	C >75 cm
Argile %	43.83	45.85	50	50.9
Limon %	37.75	35.28	31.49	29.16
Sable %	18.42	18.87	18.51	19.94
pH	6.69	7.29	7.12	7.27
P ppm	21.26	21.26	26.71	26.71
C %	6.37	4.72	4.5	3.37
MO %	10.95	8.11	7.74	5.79
CaCo3 %	0	0	0	0
N %	0.47	0.38	0.3	0.22
C/N	13.55	12.42	15	15.31
CEC meq/100g	32	30.41	29.62	26.4
K+	2.29	1.67	1.57	1.47
Na+	0.48	0.48	0.48	0.48
Capacité de rétention %	49.06	45.73	48.28	40.28

3.4. Caractéristiques dendrométriques des cèdres

Les placettes étudiées dans cette station, permettant d'obtenir les estimations suivantes.

Tableau 11: Caractéristiques dendrométriques de la station 3

Dm (cm)	Dg (cm)	Hm (m)	G /ha (m ² /ha)	D (arbre/ha)	V (m ³ /ha)
28.39	30.23	10.21	34.8	300	46.76

4. Station IV : la cédraie mono-spécifique située entre 1900 et 2100 m d'altitude exposée au nord

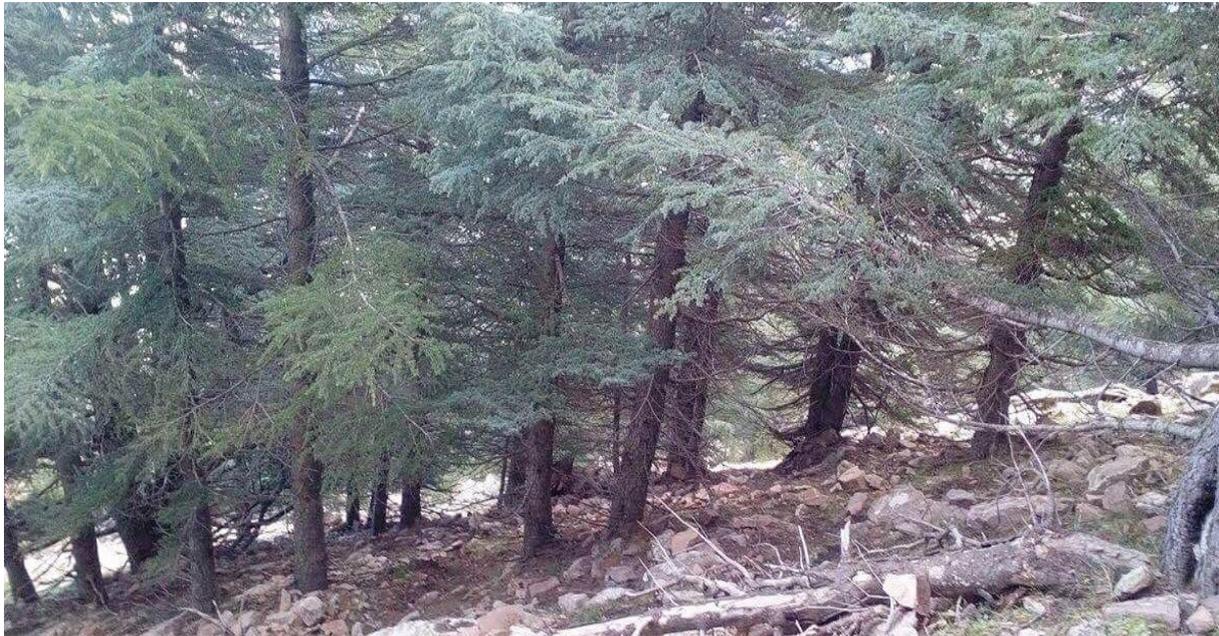


Figure 15 : Photographie de la station 4

4.1. Caractéristiques stationnelles

- Localisation : mont du Chélia
- Exposition : Nord
- Altitude : 2000 m.
- Pente : entre 30 et 40 %
- Roche mère : Grés ferrugineux
- Végétation : Vieille futaie mono-spécifique à Cèdre de l'Atlas. Sous-bois de graminées.

4.2. Caractéristiques floristiques

- **Strate arborée** Cedrus atlantica,
- **Strate arbustive** : Juniperus oxycedrus
- **Strate herbacée**
- Rosa sp
- Cynodon dactylon
- Erinacea anthyllis

4.3. Caractéristiques pédologique

Dans cette station, on rencontre les sols fersialitiques brunifier et lessiver mais recouvert d'éboulis

A : 0 -25 cm brun rougeâtre, mull eutrophe, argilo-limoneux, structure grumeleuse moyenne a grenue, moyennement consistant, poreux, bonne activité biologique, petites racines verticales, pas d'effervescence à HCl, transition diffuse.

AB1 : 25-50 cm brun rougeâtre, argilo-limoneux, polyédrique a prismatique, très consistante, faible porosité, petite fente verticale, activité biologique faible, absence de système racinaire, pas d'effervescence à HCl, transition nette.

B2 : 50-75 cm brun rougeâtre, argileux, structure prismatique à polyédrique, très consistant, faible porosité, activité biologique absente, pas d'effervescence à HCl, transition diffuse.

BC > 75cm brun, argilo-limoneux, structure polyédrique, consistant, très faible porosité, activité biologique absente, pas d'effervescence à HCl, transition nette.

-Classification du sol : Profil de type A.B.C
phénomène pédogénétique : matériel rougeâtre, oxyde de fer couleur rouge moins intense, fersialitisation. Humus de type mull eutrophie

-sol fersialitique brunifié et lessivé (Duchaufour 2003)

- Processus pédo-génétique : fersialitisation, brunification



Figure 16 : Photographie présentant le profil pédologique de la station 4

L'analyse physico-chimique et physico-hydrrique du sol de la station 4 attribut les résultats suivants

Tableau 12 : Analyse physico-chimique et physico-hydrrique du sol de la station 4

Horizons et épaisseurs	A 0-25 cm	AB1 25-50 cm	B2 50-75 cm	BC >75 cm
Argile %	42.12	49.09	50	50.6
Limon %	38.21	32.94	31.1	29.1
Sable %	19.67	17.97	18.9	20.3
pH	7.5	7.84	7.93	8.08
P ppm	21.26	15.8	15.8	15.8
C %	7.42	6.37	4.27	3.67
MO %	12.76	10.95	7.34	6.31
CaCo3 %	0	0	0	0
N %	0.56	0.43	0.39	0.33
C/N	13.25	14.81	10.94	11.12
CEC	36	32.81	31.23	30.4
K+	2.65	2.03	1.52	1.31
Na+	0.63	0.48	0.48	0.48
Capacité de rétention %	63.09	49.78	59.82	45.38

4.4. Caractéristiques dendrométriques des cèdres

Les placettes étudiées dans cette station, permettant d'obtenir les estimations suivantes.

Tableau 13: Caractéristiques dendrométriques de la station 4

Dm (cm)	Dg (cm)	Hm (m)	G/ha (m ² /ha)	D (arbre/ha)	V (m ³ /ha)
29.32	33.43	11.53	39.15	440	51.4

II. Etude cartographique des stations forestières

1. Les différentes stations forestières

Basée sur une approche mono-factorielle et utilisant un système d'information géographique SIG, l'étude cartographique des stations forestières réalisée a révélé les différentes unités forestières suivantes

1.1. Cédraie mono-spécifique à exposition sud

Cette station constitue une unité forestière complexe car elle est la résultante du regroupement de plusieurs unités bio-écologiques de petites tailles mais qui sont toutes homogènes au plan de leurs composantes écologiques à l'exception de l'orientation ; il s'agit de cédraies mono-spécifiques à différentes orientations, au nombre de 3 dont l'importance spatiale est comme suit :

-Cédraie à exposition sud : 318.16 ha

-Cédraie à exposition Est : 197.87ha

-Cédraie à exposition Nord : 2.71 ha

Cette station complexe, d'orientation Sud-Est, est située à une tranche altitudinale 1700 - 1900 m et repose en grande partie sur des grès ferrugineux ; le type pédologique est constitué en grande partie de sols colluviaux brunifiés et quelquefois de lithosols (affleurements de grès blanc et de grès ferrugineux), le profil est de type AC et l'humus est une variante entre le mull eutrophe et le mull calcique.

Sur le plan floristique, cette station présente généralement un cortège floristique dominé par les espèces suivantes :

- Asphodelus microcarpus
- Bupleurum spinosum
- Euphorbia biglandulosa
- Artemisia campestris L.

1.2. Cédraie mono-spécifique à exposition nord

Cette unité forestière unitaire s'étale sur une tranche altitudinale allant de 1600 à 1800 m, elle occupe une surface de 235.90 ha, les sols rencontrés dans cette station sont des sols colluviaux, profil de type AC et des sols fersialitiques brunifiés

Cependant ; la flore herbacée qui caractérise cette cédraie est constituée comme suit

- Asphodelus microcarpus
- Cynodon dactylon
- Ampelosedmos mauritanicus
- Artemisia campestris L

Concernant la topographie, l'exposition générale de cette station est de type nord

1.3. Cédraies à Chêne

Cette station constitue une unité forestière complexe et elle regroupe un ensemble d'unités homogènes sur le plan écologique, excepté l'orientation ; ces unités sont situées entre 1600 et 1800 m d'altitude de surfaces variables comprises entre 165 ha et 291 ha ; Il s'agit de cédraies- chênaie à différentes orientations, au nombre de 3 dont l'importance spatiale est comme suit :

- ± Cédraie- chênaie à exposition nord occupe une surface de 183.07 ha
- ± Cédraie- chênaie à exposition Sud occupe une surface de 291.05 ha
- ± Cédraie- chênaie à exposition Ouest occupe une surface de 164.66 ha

Concernant la typologie pédologique, cette unité repose sur des sols colluviaux (versants) et des sols fersialitiques brunifiés (replats structuraux)

Au plan floristique, cette station se caractérise par les espèces herbacées suivantes :

- Thapsia garganica
- Euphorbia biglandulosa
- Cynodon dactylon
- Ampelosedmos mauritanicus

1.4. Cédraie mono-spécifique à hautes altitudes

Au-delà de 2000 m d'altitude, on rencontre une cédraie mono-spécifique à orientation générale nord- Ouest, elle est considérée comme une station complexe qui regroupe 2 types de stations la première station cédraie mono-spécifique à orientation Nord occupe une superficie de 36.52 ha et une deuxième cédraie mono-spécifique à orientation Ouest s'étale sur une superficie de 37.62 ha

Concernant la végétation herbacée, cette station est caractérisée par les espèces suivantes :

- Rosa sp.
- Cynodon dactylon
- Erinacea anthyllis

Sur le plan pédologique, les sols caractérisent cette station sont de type fersialitiques brunifié et lessiver

1.5. Zone asylvatique

Une surface de 1141.33 ha déboisée est considérée comme une pelouse, elle est caractérisée par la végétation herbacée suivante :

- Asphodelus microcarpus,
- Euphorbia biglandulosa,
- Bupleurum spinosum,
- Erinacea anthyllis,
- Artemisia campestris L

Sur le plan pédologique, les sols de cette unité sont de type colluviaux brunifiés et quelquefois des lithosols, (affleurement de grés blanc et ferrugineux), de profil de type AC et d'humus mull eutrophe et /ou mull calcique.

Concernant la topographie ; il a été noté que l'orientation générale des pelouses est de type Nord- Ouest

2. Etablissement de la carte

Après l'identification et l'inventaire des différentes stations de cèdre du massif du Chélia, il a été procédé à la délimitation de ces unités sur une carte. C'est l'objet de cartographie des stations forestières

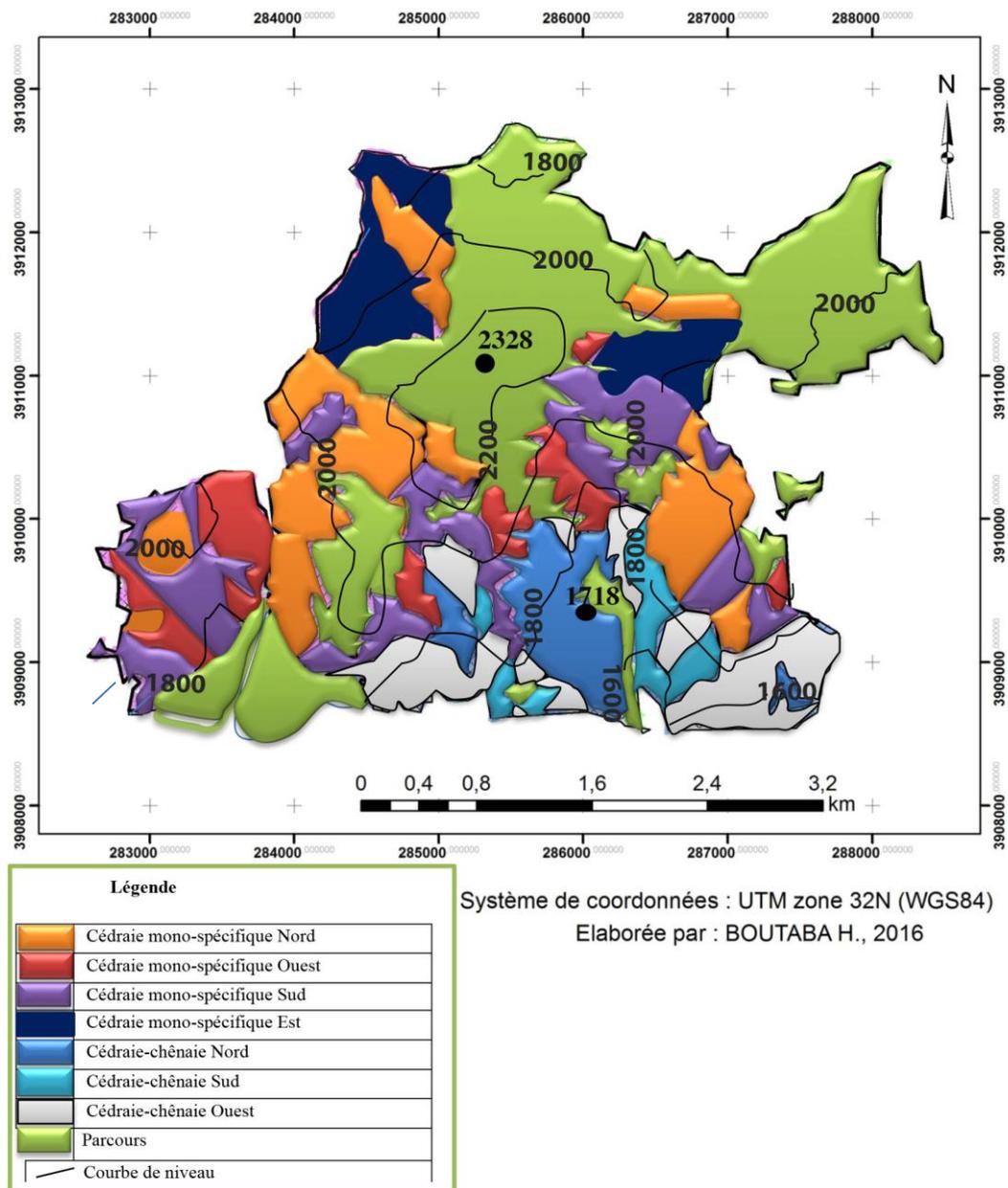


Figure 17 : Carte des stations forestières de la zone d'étude

III. Corrélations entre les stations de cèdre et les caractéristiques pédologiques

1. Station de cèdre et granulométrie des sols

L'analyse de la figure 18, fait ressortir que les sols de la cédraie des hautes altitudes « station 4 » et la cédraie mixte « station 3 » se caractérisent par des teneurs très élevées en éléments fins notamment en argiles (47.95%, 47.64%) alors que dans les deux stations mono spécifiques de cèdes 1 et 2, les sols possèdent des taux d'argiles relativement importants mais cependant moindres et sont respectivement de l'ordre de 39,23% et 31,01% ; ces taux d'argiles élevés sous les cédraies des hautes altitudes seraient liés vraisemblablement à des effets-litières (litières mono spécifiques et mixtes) et rhizosphère de forte intensité lesquels provoquent une plus grande activité biologique ; celle-ci se traduit par une plus grande altération des minéraux primaires selon des mécanismes acidolytiques et enzymatiques (Berthelin ;1976 ;Ould rabah,1991 ;Ghoul.f, 1993 ; Gouaref,2004). Il en résulterait une plus grande synthèse de minéraux secondaires notamment les minéraux argileux. Il en est de même pour les sols développés sous les cédraies mono spécifiques avec néanmoins des teneurs moins élevées en élément argileux dans les sols ; ceci serait en rapport avec une intensité moindre des phénomènes biologiques.5

Pour ce qui de l'influence relative des types de stations sur les taux d'argile dans les sols, l'analyse de la variance établie montre l'existence d'une différence hautement significative entre les différentes stations étudiées. (Voir tableau 14)

2. Etablissement de la carte

Après l'identification et l'inventaire des différentes stations de cèdre du massif du Chélia, il a été procédé à la délimitation de ces unités sur une carte. C'est l'objet de cartographie des stations forestières

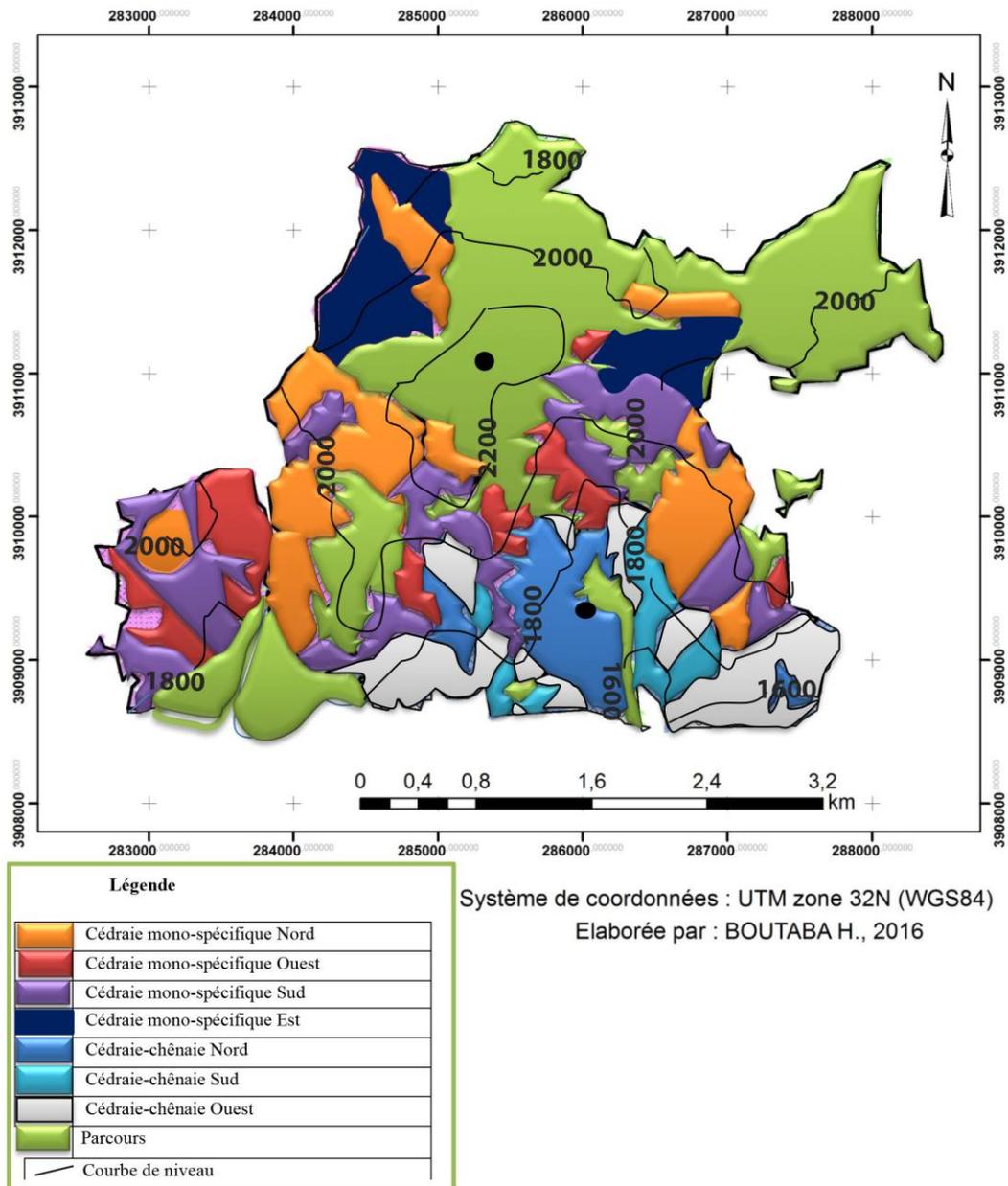


Figure 17 : Carte des stations forestières de la zone d'étude

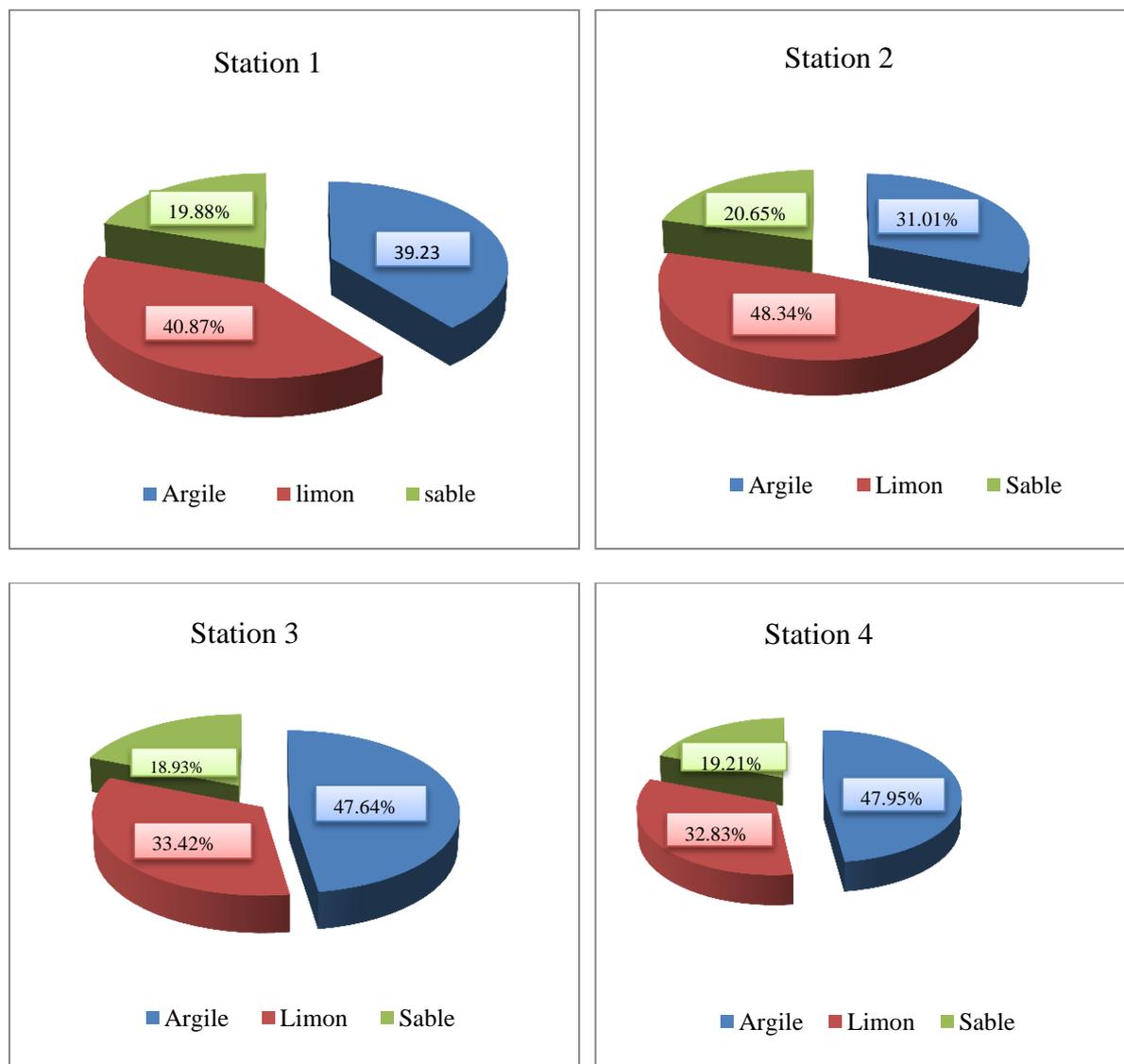


Figure 18 : Répartition des fractions granulométriques des stations étudiées

Tableau14 : Analyse de la variance pour le taux d'argile du sol des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	995,439655	3	331,813218	40,8760931	9,9582E-08	3,238871517

A l'intérieur des groupes	129,8806	16	8,1175375			
Total	1125,32026	19				

2. Station de cèdre et pH des sols

La figure 19 montre l'homogénéité des profils de pH dans les sols des quatre sites, dont les valeurs se situent entre 6.69 et 8.08

Enfin, la plupart des sols du Chélia, à cause d'un pH neutre ou légèrement basique présenteraient des conditions d'une bonne assimilation des éléments nutritifs et notamment de l'azote, du phosphore et du potassium. Un essai de fertilisation et particulièrement phosphatée serait à envisager.

De telles valeurs ont été observées dans les travaux de Beloula (2011), Houamel (2012) et Katy (2011) ; malgré la diversité des stations, il n'est pas noté de différence au niveau des pH bien que les sols subissent souvent des effets litières différents ; cela peut s'expliquer par, non pas un effet peuplement (litières, rhizosphère, phyllo sphères) mais, plutôt par l'effet des substrats minéraux qui ont tendance à maintenir la réaction des sols proche de la neutralité .

Au plan statistique, l'analyse de la variance réalisée, révèle une différence significative concernant l'effet conjugué des facteurs altitude, exposition et formation végétale sur le pH des sols étudiés. (Tableau 15)

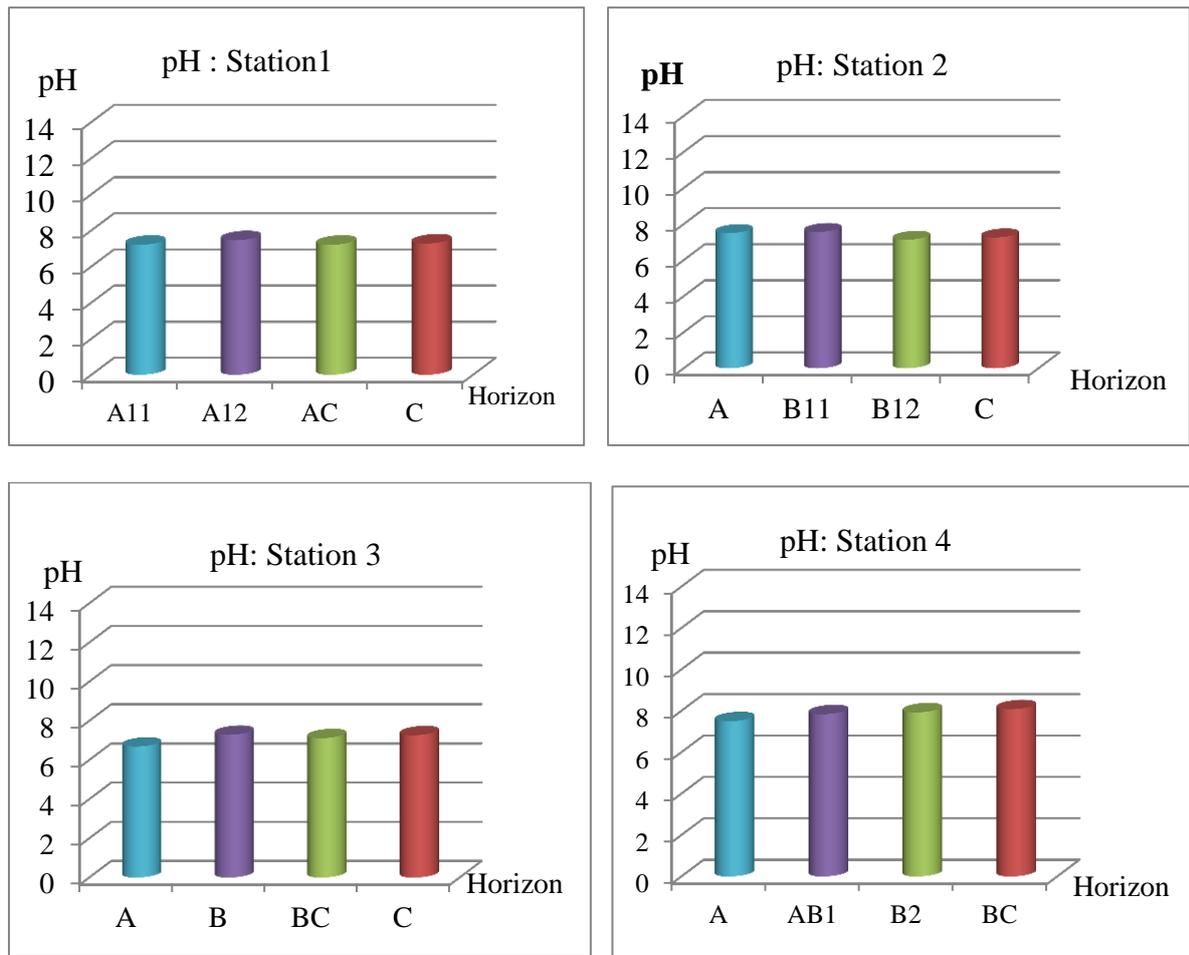


Figure 19 : Valeur des pH dans les profils étudiés

Tableau15 : Analyse de la variance pour le pH du sol des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	0,870175	3	0,29005833	10,6025161	0,0004403	3,23887152
A l'intérieur des groupes	0,43772	16	0,0273575			
Total	1,307895	19				

3. Station de cèdre et MO des sols

Les sols étudiés ont des teneurs en matière organique varie de 12.76 à 10.27 % dans l'ensemble des stations, le taux le plus élevé est observé dans les sols de la station 4 des hautes altitudes (12.76), cette augmentation est due à l'effet du couvert principalement à un apport plus important de la M.O, soit le sol formé des retombées de litière, de pluvio-lessivats et de débris racinaires. Ainsi que les organes du sol transforment en matière humiques difficilement biodégradables. Les horizons de surfaces sont riche par rapport aux horizons de profondeurs, cette élévation est due principalement à la quantité et à la qualité des retombés biologiques solides et liquides, et lié à la nature et la densité des peuplements (Rovira et Vallejo, 1997)

Cependant ; nous notons également une diminution de ces taux dans les horizons profonds et ce pour l'ensemble des stations. Ainsi, vis à vis du comportement de cèdre, les matières organiques (feuilles et aiguille) en plus de leurs rôles de fournisseur d'éléments minéraux suite à l'activité microbienne influencent fortement le développement de cette essence végétale après leur transformation en humus stable, substrat, réserve en eau, milieu nutritif.

Cette diminution des réserves organiques varie en fonction des types de peuplements (mono spécifiques, mixtes), de la typologie et de microclimat. Ainsi ; Emilien (2007), nota une diminution brutale du taux de carbone dans les horizons sous-jacents et l'attribue à l'absence d'une activité microbienne et d'un stock de matière organique à cette profondeur.

Cependant, l'analyse statistique effectuée, ne fait pas ressortir de différence significative concernant l'effet combiné des facteurs altitude, exposition et formation végétale sur le taux de la M.O présente dans les sols étudiés. (Tableau 16)

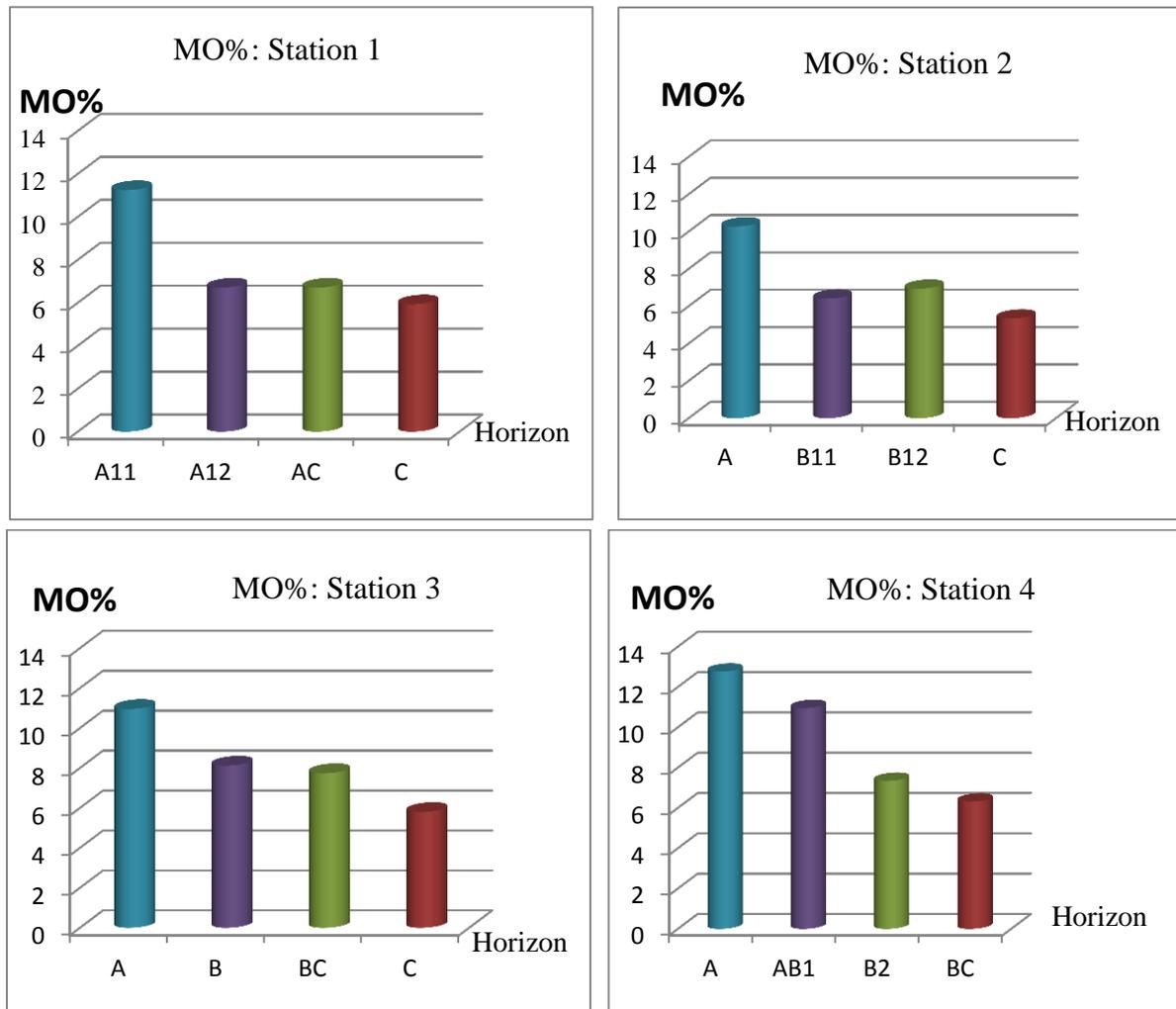


Figure 20 : Evolution du taux de matière organique des sols dans les stations étudiées

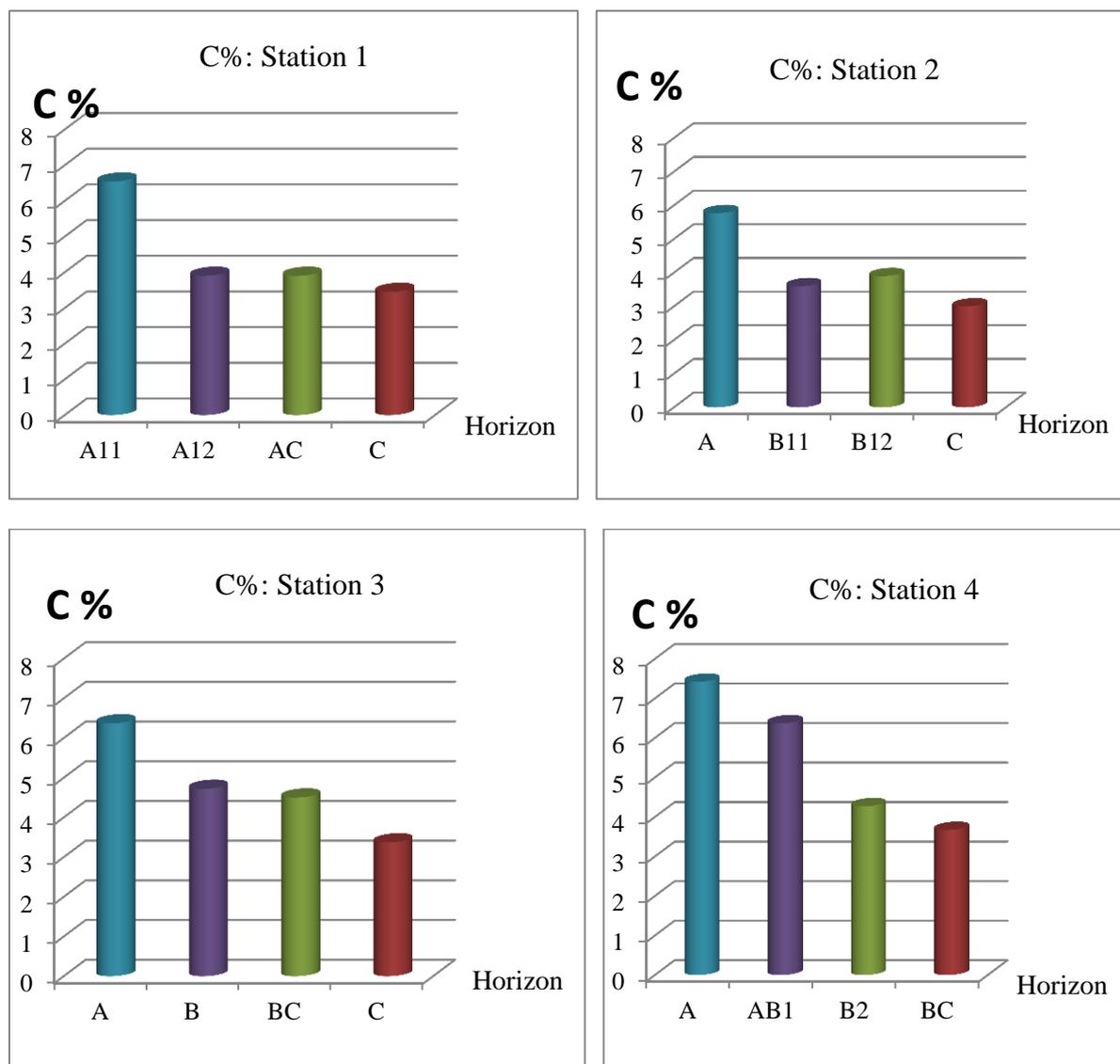


Figure 21: Teneur du carbone dans le sol des stations étudiées

Tableau16 : Analyse de la variance pour le taux de la M.O du sol des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	8,914375	3	2,971458333	2,55860778	0,09147559	3,23887152
A l'intérieur des groupes	18,58172	16	1,1613575			
Total	27,496095	19				

4. Station de cèdre et l'azote dans le sol

L'analyse des résultats figure 22 révèle que la cédraie 4 des hautes altitudes est le siège d'une plus grande accumulation d'azote (0.47%) ; dans l'horizon de surface (HA1), alors que les teneurs les plus faibles en cet élément s'observent dans les sols des cédraies mono spécifiques de basses altitudes. Des résultats comparables ont été notés par Belloula (2012) dans son étude relative à la distribution de l'azote dans les sols sous différentes stations du Chélie.

Cette élévation des quantités d'azote est vraisemblablement due à la nature des peuplements et donc des M.O relativement améliorante (riche en azote hydrosoluble) mais aussi à l'activité des différents groupes microbiens notamment la minéralisation de N organique, la fixation de l'azote moléculaire (Duchaufour ; 1989)

Aussi, dans les autres horizons, les teneurs en azote total sont plus importantes sous l'effet des cédraies 3 et 4 ; L'effet de litière se traduit par une meilleure dynamique de l'azote du sol. Toutefois, nous observons une diminution graduelle de la teneur en azote dans les horizons profonds

Dans ce cadre, Reversat (1974) avait déjà signalé les mêmes tendances concernant la distribution de l'azote dans une forêt tropicale de Côte d'Ivoire. il avait noté pour l'élément N et l'élément C une même répartition : teneurs élevées en surface et diminutions rapides dans les horizons inférieurs. Aussi, Djegui et al (1992) ont observé sous une végétation forestière naturelle, des teneurs élevées en azote dans les horizons de surface.

Au sujet de l'étude statistique, l'analyse de la variance effectuée montre une différence hautement significative entre les différentes stations étudiées concernant le taux d'azote dans les sols. (Tableau 17)

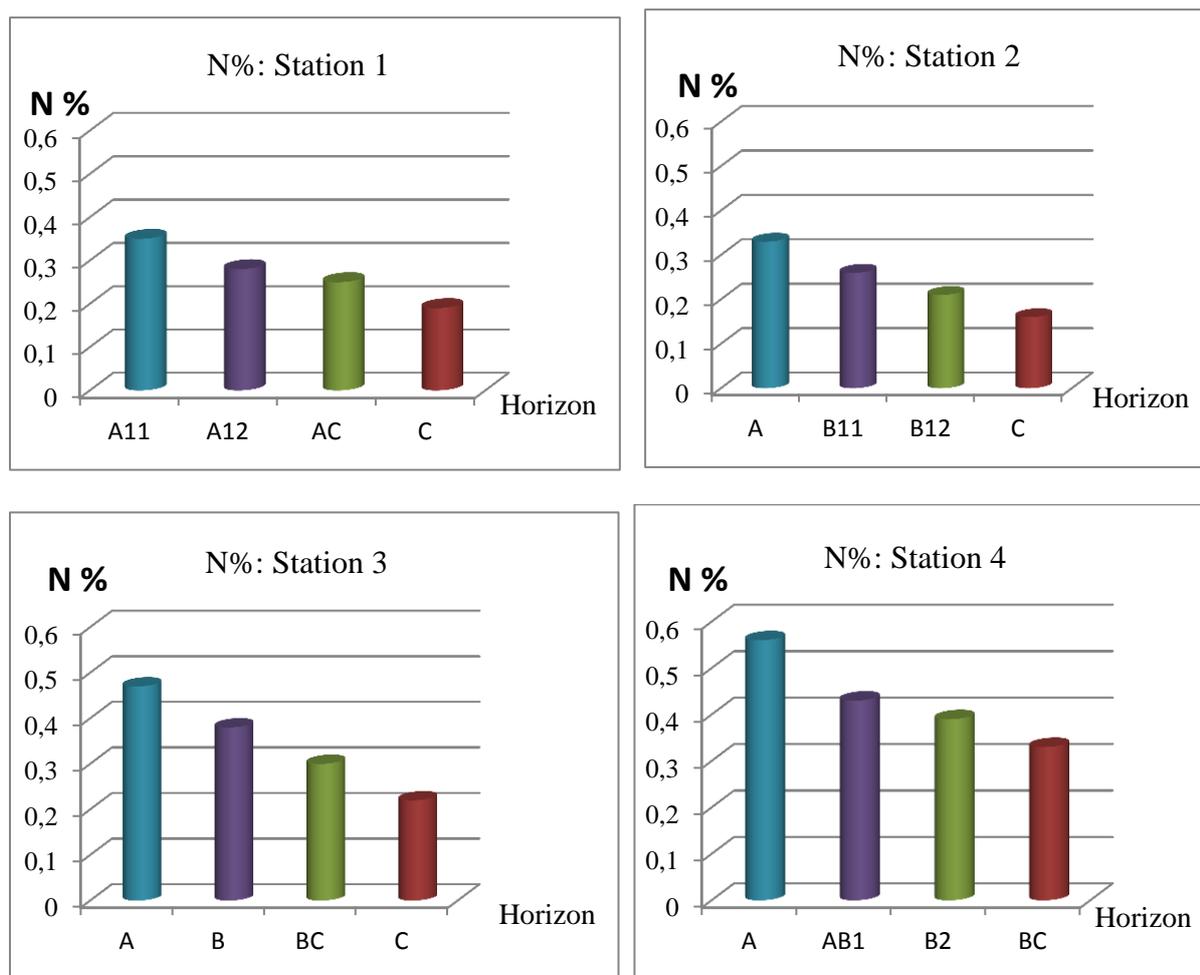


Figure 22 : Distribution d'azote dans les stations étudiées

Tableau17 : Analyse de la variance pour la teneur en azote du sol des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	0,1144	3	0,038133333	34,8249619	3,0342E-07	3,23887152
A l'intérieur des groupes	0,01752	16	0,001095			
Total	0,13192	19				

5. Station de cèdre et la CEC dans le sol

L'étude de la figure 23 montre que les sols de la cédraie pure des hautes altitudes et de la cédraie mixte possèdent une capacité d'échange très élevée (50 meq/100g sol) ; ceci pourrait s'expliquer soit par l'existence d'une réserve humique importante due à l'effet litière ; les résidus organiques retournant au sol manifeste un effet litière et créent une ambiance qui stimule fortement l'activité biologique particulièrement l'humification. Au plan minéralogique ; on pourrait aussi mettre en cause l'effet des argiles dont les teneurs sont aussi importantes dans ces sols forestiers.

(Halitim.s ; 2006) dans son étude, elle a souligné que tous les constituants des sols des cédraies du Chélia qu'ils soient organiques ou minéraux, possèdent une charge électrique de surface. Ainsi, dans des conditions de pH proches de la neutralité, une grande partie des hydroxydes notamment les oxydes de fer de surface est dissociée ; il en résulte une charge électrique négative dont l'importance varie en fonction du pH et peut atteindre jusqu'à 50% de la CEC (Julien et Turpin, 1999).

Concernant l'effet du type de station sur la CEC, l'analyse statistique effectuée fait ressortir une différence hautement significative entre les sols des différentes stations pour ce paramètre physico-chimique. (Tableau 18)

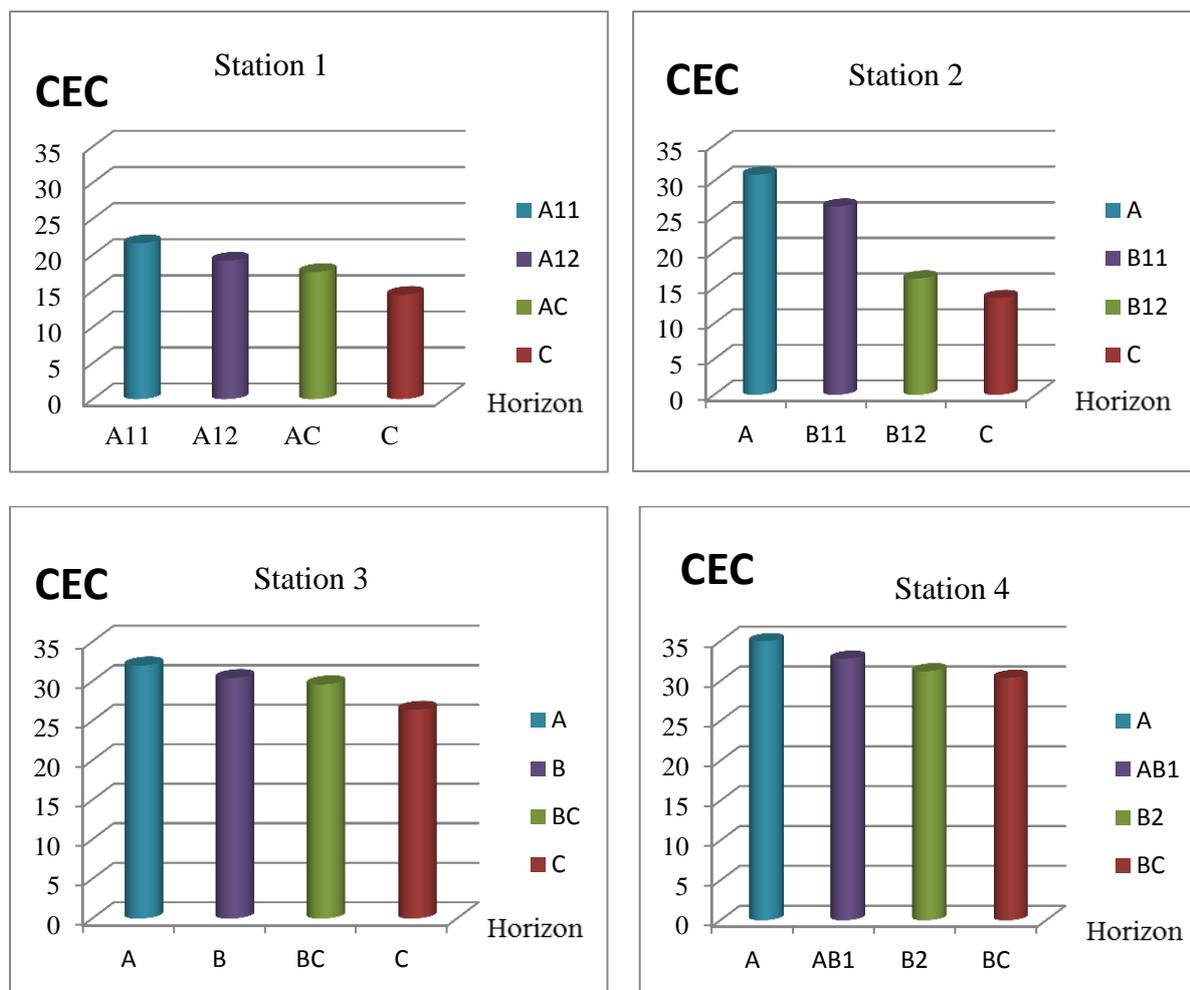


Figure 23: La CEC des sols dans les stations forestières étudiées

Tableau 18 : Analyse de la variance pour la CEC du sol des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	727,615695	3	242,538565	52,3643754	1,70469E-08	3,23887152
A l'intérieur des groupes	74,10796	16	4,6317475			
Total	801,723655	19				

IV. Corrélations entre stations de cèdre et caractéristiques dendrométriques

1. Stations de cèdre et diamètre moyen et hauteur moyenne

L'analyse des figures 24, 25 montre que le diamètre moyen le plus élevé atteint 33.43 cm chez les sujets de cèdre de la station 4 cédraie mono-spécifique des hautes altitudes alors que le plus faible est enregistré chez les pieds de la cédraie-chênaie 30.23 cm ; Cependant, les peuplements de la station 1 et 2, en l'occurrence la cédraie du versant nord et la cédraie du versant sud, présentent des diamètres moyens respectivement de 31.6 et 31.99 cm.

Concernant l'effet des stations, on remarque aussi que la hauteur des arbres la plus élevée est enregistrée dans la station des hautes altitudes 11.53 m mais la plus faible se trouve dans la station 1 cédraie du versant sud 9.50 m ; comparativement aux stations 2 et 3, la cédraie du versant nord et la cédraie-chênaie, possèdent les hauteurs moyennes respectivement de 9.72 et de 10.21 m.

Au vu de ces résultats, on peut dire que l'augmentation de la croissance en diamètre et en hauteur du cèdre des hautes altitudes, pourrait être expliquée par l'existence de conditions écologiques plus favorables (Neige fréquente, pluies, température minimale très basse), et une ambiance éco-pédologique plus favorable à l'activité biologique ceci favoriserait un meilleur comportement des peuplements. Aussi Malki (1992) et Nezzar kebaili (2009) ont observé en haute altitude une meilleure régénération du cèdre et ils l'ont attribuée à l'effet d'un microclimat plus humide dans cette tranche altitudinale

Concernant l'effet de l'exposition sur la croissance en diamètre et en hauteur, il est signalé que la cédraie du versant nord présente une légère supériorité de croissance comparativement à la cédraie du versant sud, cette différence est due principalement aux conditions climatiques en versant nord, (microclimat favorable, humidité, forte activité biologique).

Pour ce qui est de l'influence de la formation végétale sur la croissance en diamètre du cèdre, il est remarqué que la cédraie mono-spécifique présente une valeur plus élevée par rapport à la cédraie mixte ; cela indique que la matière organique de la litière de cèdre stimule l'activité biologique dont les effets se traduisent par la synthèse ubiquine de phytohormones ; celles-ci assurent une meilleure croissance radiale, contrairement à la litière mixte de la cédraie- chênaie.

Dans ce cadre, Bezzala (2001) et Kady (2003) avaient déjà signalé les mêmes tendances concernant l'effet de litière sur la croissance du peuplement de cèdre ; ils avaient noté sous l'effet de la litière de cèdre une bonne nutrition des peuplements et un meilleur comportement des jeunes plantules de cette essence forestière.

L'étude statistique effectuée à travers l'analyse de la variance, ne révèle pas une différence significative au plan des facteurs combinés d'altitude, d'exposition et de formation végétale sur le Dm et la Hm. (Tableau 19, 20)

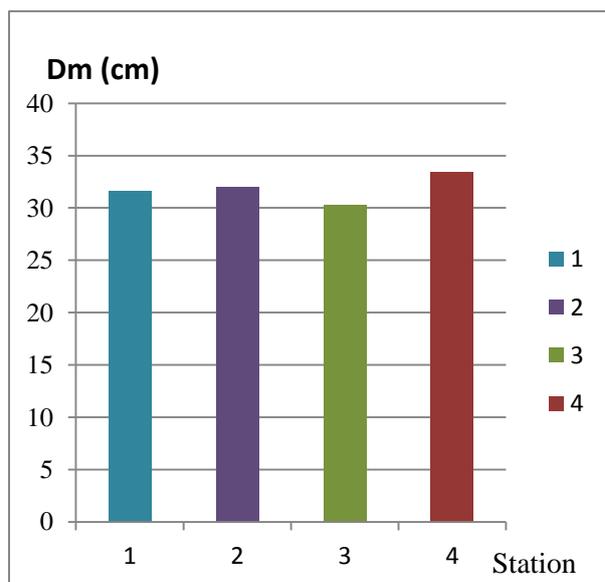


Figure 24 : Diamètre moyen de cèdre dans les différentes stations étudiées

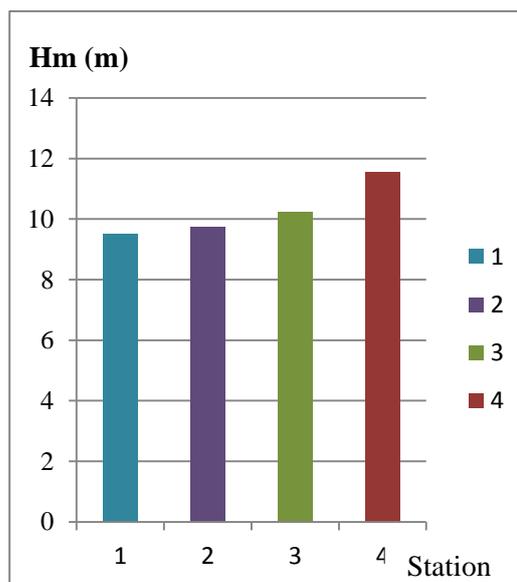


Figure 25 : hauteur moyenne de cèdre dans les différentes stations

Tableau 19 : Analyse de la variance pour le diamètre moyen de cèdre des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	4.132498	3	13.7749933	1.49040899	0.25500611	3.23887152
A l'intérieur des groupes	147.8788	16	9.242425			
Total	189.20378	19				

Tableau 20 : Analyse de la variance pour la hauteur moyenne de cèdre des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	3,31219844	3	1,10406615	0,38745999	0,76355799	3,23887152
A l'intérieur des groupes	45,591955	16	2,84949719			
Total	48,9041534	19				

2. Stations de cèdre et la densité des peuplements

L'analyse de la figure 26 montre que la densité des peuplements varie d'une station à une autre ; il est noté que la station 4 des hautes altitudes présente toujours une plus grande densité (440 arbres/ha), comparativement aux autres stations, la plus faible densité est observé dans la cédraie mixte (300 arbres/ha), les deux cédraies mono-spécifiques 1 et 2 présentent des valeurs moyennes respectivement de 364 arbres/ ha et de 380 arbres/ ha.

Cette différence de densité est due vraisemblablement à une meilleure disponibilité de la lumière, de l'eau et des nutriments dans les stations de hautes altitudes ; ces conditions peuvent améliorer les paramètres de croissance et de reproduction.

Statistiquement, l'analyse de la variance montre une différence significative entre les quatre stations étudiées concernant l'effet altitude, exposition et formation végétale sur la densité du cèdre. (Tableau 21)

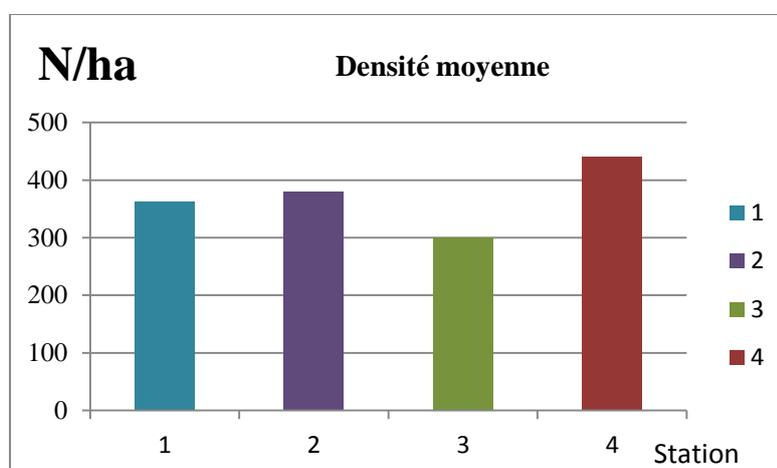


Figure 26 : Densité moyenne des stations étudiées

Tableau 21 : Analyse de la variance pour la densité des peuplements de cèdre dans stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	36230,9375	3	12076,9792	21,8266878	6,7052 ^E -06	3,23887152
A l'intérieur des groupes	8853	16	553,3125			
Total	45083,9375	19				

V. Corrélations entre stations de cèdre et caractéristiques éco-physiologiques

1. Corrélations entre stations et croissance de cèdre

Concernant la croissance, il est noté un meilleur effet des cédraies mono- spécifiques sur la croissance verticale et radiale des peuplements de cèdre et ceci a pour principale cause une grande synthèse de biomolécules simples dans les sols tels que les acides aminés et les mono saccharides lesquels résulte de la décomposition microbienne des macromolécules organiques constituants la matière organique fraîche. Dans le cadre de leurs activités métaboliques, les différents groupes microbiens peuvent transformer ces molécules simples sous la forme des phytohormones telles que les auxines, les gibbérélines, les cytokinines et l'acide abcyssique.

2. Corrélations entre stations et nutrition de cèdre

L'étude du tableau 14 relatif à l'analyse foliaire révèle que le niveau de nutrition traduisant généralement la capacité d'assimilation des éléments minéraux N.P.K du sol, varie d'une station à une autre ; les teneurs en éléments nutritifs les plus élevées sont enregistrées dans les aiguilles la cédraie des hautes altitudes et sont de 7.5% pour l'azote, 4.46 % pour le Phosphore et 1.8% pour le potassium K ; cependant les moindres teneurs des aiguilles sont remarquées dans la cédraie mono-spécifique des basses altitudes et sont comme suit 6.4 % pour l'azote, 4.35% pour le phosphore et 1.49 % pour le potassium.

Au vu de ces résultats, nous pouvons dire que la meilleure nutrition N.P.K est notée dans la cédraie des hautes altitudes, ceci pourrait être expliqué par l'existence de meilleures conditions écologiques (pluviométrie, température). Dans cette ambiance, il se produit une bonne dégradation des biomolécules laquelle est particulièrement liée à une plus grande activité biologique ; cela se traduit par une bonne minéralisation de la matière organique; et

une bonne mycorhization lesquelles peuvent favoriser une meilleure disponibilité des éléments majeurs tels que l'azote, le phosphate et le potassium

L'analyse statistique concernant l'effet combiné Altitude, Exposition, Végétation sur la teneur des aiguilles en N et en K montre l'existence d'une différence significative entre les quatre stations étudiées

Cependant, l'effet des facteurs conjugués Altitude, Exposition et formation Végétale sur la teneur des aiguilles en P ne montre aucune différence significative entre les quatre stations étudiées à travers l'analyse de la variance (Tableau 23, 24 et 25)

Tableau 22 : Teneurs des aiguilles en éléments chimiques N.P.K pour l'ensemble des stations d'étude

	N (%)	P (%)	K(%)
Aiguilles S1	6.4	4.35	1.49
Aiguilles S2	6.7	4.46	1.71
Aiguilles S3	5.8	4.46	1.68
Aiguilles S4	7.5	4.46	1.8

Tableau 23 : Analyse de la variance pour la teneur des aiguilles en N des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	163,425903	3	54,4753008	449,088696	1,1956 ^E -15	3,23887152
A l'intérieur des groupes	1,94083	16	0,12130188			
Total	165,366733	19				

Tableau 24 : Analyse de la variance pour la teneur des aiguilles en K des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	0,30622094	3	0,10207365	48,7588695	2,848 ^E -08	3,23887152
A l'intérieur des groupes	0,033495	16	0,00209344			
Total	0,33971594	19				

Tableau 25 : Analyse de la variance pour la teneur des aiguilles en N des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	0,07117094	3	0,02372365	0,26532899	0,84937493	3,23887152
A l'intérieur des groupes	1,430595	16				
Total	1,50176594	19				

VI- Comparaison des volumes du bois entre les différentes stations d'étude

Pour prédire la potentialité de production du cèdre, en fonction des facteurs de stations, il a été procédé au calcul des volumes des peuplements pour l'ensemble des stations étudiées

Il est constaté que la station 4 des hautes altitudes présente le volume le plus important avec 51.4 m³/ha, elle se situe en première position ; la deuxième position est occupée par la cédraie -chênaie avec 46.76 m³/ha. Cependant, La troisième place revient à la cédraie mono-spécifique versant nord avec 37.22 m³/ha, tandis que la cédraie pure à exposition sud vient à la quatrième position avec un volume de 30.61 m³/ha.

Ce meilleur comportement des peuplements dans la station des hautes altitudes est dû d'une part, à la richesse des sols en matière organique de bonne qualité, à une bonne

alimentation en eau et d'autre part à une meilleure nutrition minérale et une meilleure croissance des cèdres.

Statistiquement, l'analyse de la variance révèle une différence significative entre les quatre stations d'études concernant l'effet du type de station sur le Volume de cèdre (Tableau 26)

A partir des deux tests, Fisher et Newman-Keuls, il se dégage 4 groupes homogènes.

- Groupe A : station 4.Cédraie mono-spécifique « hautes altitudes »
- Groupe B : Station 3.....Cédraie chénaie
- Groupe C : Station 2.....Cédraie mono-spécifique « versant nord »
- Groupe D : Station 1..... Cédraie mono-spécifique « versant sud»

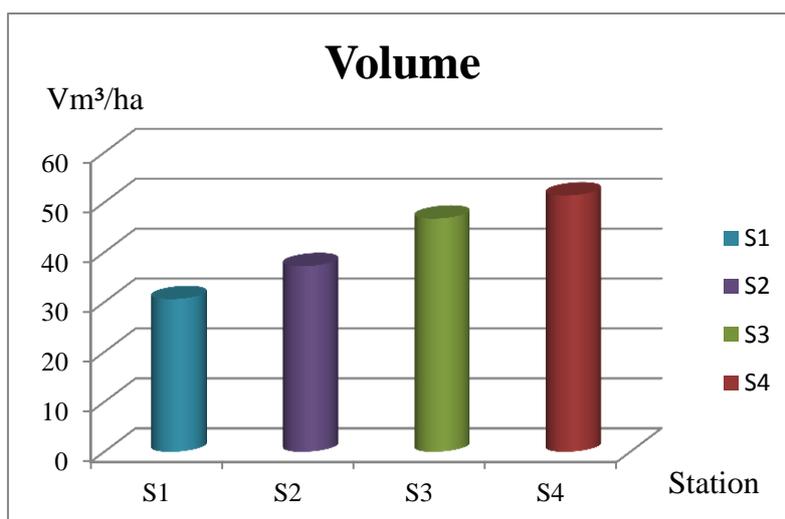


Figure 24 : Volume moyen des peuplements des stations étudiées

Tableau 26 : Analyse de la variance concernant les volumes des cèdres des stations étudiées

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre groupes	1181,38778	3	393,795927	80,2754379	7,3624 ^E -10	3,23887152
A l'intérieur des groupes	78,48895	16	4,90555938			

Tableau 27 : Détermination des groupes homogènes en fonction des volumes des cèdres.

Catégorie	LS means	Groupes
Station 4	50.853	A
Station 3	45.430	B
Station 2	36.463	C
Station 1	31.050	D

*Conclusion
générale et
perspectives*

Conclusion générale et perspectives

Cette étude a pour objectif d'une part d'inventorier les différents types de cédraie de quelques monts du Chéla et de connaître leur distribution et leur importance spatiales. D'autre part, cette investigation vise à élucider les éventuelles interactions entre les types de cédraie et les différents paramètres de ces cédraies en particulier les facteurs pédologiques, les caractéristiques dendrométriques et les caractéristiques éco-physiologiques.

Pour cela, nous avons procédé à une prospection in situ, à une exploitation de photographie aériennes satellitaires et l'adoption d'un système SIG (log arc gis) par lequel est effectuée une étude cartographique des cédraies à une grande échelle (1/20.000).

Au plan typologique, la prise en considération des trois facteurs de détermination de station a permis d'inventorier quatre stations complexes de cèdre, une cédraie pure du versant sud comprise entre 1700 et 1900 m, une cédraie pure du versant nord comprise entre 1700 et 1900 m, une cédraie-chênaie sur versant nord comprise entre 1700 et 1900 m et une quatrième station cédraie mono-spécifique comprise entre 1900 et 2100 m sur versant nord.

Pour ce qui est de la distribution spatiale de ces stations, l'étude cartographique faite sur une superficie de 2613 ha révèle l'existence de 5 stations complexes composées de sous stations différentes au plan de l'orientation, la première étant une cédraie mono-spécifique composée de 3 sous stations différentes sur le plan d'exposition, cette unité s'étend sur une surface de 519 ha ; la deuxième, une cédraie mono-spécifique qui s'étale sur une superficie de 236 ha regroupe deux sous stations ; la troisième station une cédraie-chênaie occupe une surface de 639 ha ; la quatrième station, une cédraie mono-spécifique qui se situe à 2000 m d'altitude s'étale sur 78 ha et enfin une zone pastorale occupant une superficie de 1141ha.

Concernant l'effet du type de station sur les caractéristiques pédologiques ; il ressort que la cédraie mono-spécifique de haute altitude a eu comme effet d'élever relativement dans les sols les taux de M.O, C, N et P et d'améliorer leurs états physico-hydriques (Structure, capacité de rétention) ; cependant, la cédraie mono-spécifique du versant nord semble exercer un moindre effet se traduisant par des valeurs moins importantes pour les différentes paramètres pédologiques.

Pour ce qui est de l'influence du type de cédraie sur les caractéristiques dendrométriques, il est noté des valeurs élevées des diamètre moyen (Dm), des hauteurs moyennes (Hm), des

Conclusion générale et perspectives

surfaces terrières moyennes (G/ha), des densités de peuplement (N/ha) et des volumes de cèdre (V/ha) dans les cédraies mono-spécifiques en hautes altitudes et les cédraies- chénaies alors que les cèdres de la station mono-spécifique sud se caractérisent par des paramètres dendrométriques de valeurs moindres.

Au plan éco-physiologique, nous notons une meilleure nutrition N.P.K du peuplement dans la cédraie mono-spécifique nord et c'est dans la cédraie mono-spécifique sud où le peuplement semble bénéficier d'une moindre nutrition minérale.

Au sujet du potentiel sylvo-productif, cette étude révèle que la cédraie des hautes altitudes est celle qui présente la meilleure productivité (V/ha), alors que la cédraie- chénaie, la cédraie mono-spécifique de moyenne altitude et la cédraie du versant sud possèdent des potentiels relativement moindres ; Ceci démontre que le facteur altitude (effet considérable sur la pluviométrie et la température) a une influence beaucoup plus grande sur le comportement du cèdre et sa productivité comparativement aux autres facteurs notamment la formation végétale et l'exposition.

Au vu des différents aspects traités dans le cadre de cette étude, il serait judicieux d'entamer de nouvelles recherches en vue de l'identification automatisée des différents types de stations qui composent le massif forestier de Chélia ; ceci nous permet de proposer un modèle cartographique prenant en considération la description, la typologie et la distribution des stations forestières, éléments indispensables à un aménagement rationnel de cette zone forestière. Aussi, il serait intéressant d'étudier par voie expérimentale en conditions de laboratoire et en conditions naturelles, les facteurs dont l'influence sur la qualité physiologique des plants (Croissance, nutrition, développement,..) est de première importance ; ceci pourrait nous permettre d'élucider éventuellement les mécanismes de leurs actions sur le comportement des jeunes plants de cèdre au Chélia et les moyens et les différents procédés à mettre en œuvre en vue d'un meilleur comportement de ces peuplements forestiers.

De telles approches pourraient aider les forestiers à établir un catalogue de stations avec leurs caractéristiques typologiques et à mieux élucider les différentes interactions entre les différentes composantes des cédraies et de classer finalement ces stations selon leurs potentiels productifs soit en vue de leurs éventuelles exploitations, soit en vue d'envisager des actions appropriées pour une amélioration effective de la productivité de ces peuplements.

*Références
bibliographiques*

Annexes

Bibliographie

- ABDESSAMED K., 1981 : Le Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans les massifs de l'Aurès et du Belezma. Etude phytosociologique, problèmes de conservation et d'aménagement. Thèse Doct. Ing. Univ. Aix-Marseille, p. 202.
- ABDESSEMED K., 1984 : Les Relations Climat-Végétation dans le Sud Constantinois. *Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques*, 131:2-4, 145-155
- ABDESSAMED S., 2008 : Comportement des semis du cèdre de l'atlas en conditions de stress thermique. Thèse magister. Fac. Constantine.
- ABOUROUH M., 1983 : Essai de mycorhization de *Cedrus atlantica* en pépinière. *Annales de la recherche forestière au Maroc*.23 : 193-327.
- ABOUROUH M., 1994 : Les ectomycorhizes du cèdre de l'Atlas : état des connaissances et perspectives. *Ann. Rech. Maroc*. 27. Vol. 2 338-346.
- ACHHAL A., AKABLI O., Barbero M., Bebaabid A., M'hirit O., Peyre C, Quezel P. et RivasMartinez, S., 1980 : A propos de la valeur bioclimatique et dynamique de quelques essences forestières au Maroc. *EcologiaMediterranea*, 5 p. 211-249.
- ALLEGRINI C., 1981 : Les futaies jardinées privées du Haut-Jura, Besançon, CRPF,9 p. (résumé des travaux de Herbert et Rébeiro).
- ALEXANDRIAN D., GOUIRAN M. 1992., Les causes des incendies. *Levons le voile !.Forêt méditerranéenne*, n° 1, p. 41-47.
- AMRANI Y., 2002 : Contribution à l'inventaire phytosanitaire du cèdre de l'Atlas dans la forêt de Sidi M'guild- Canton de Ain Kahla. Mémoire de 3e cycle ENFI. 79 p.
- AUSSENAC G. 1984 le cèdre essai d'interprétation bioclimatique et éco-physiologique. *BullSoc.Bot .Fr.*, n°131 (2/3/4, pp.385-398)
- AUSSENAC G et GUHL J, 1990 : Ecophysiologie des cèdres (*Cedrus* Sp.), conséquences pour la sylviculture. *Bull. Sci. Bot. For.* 131. *Actual Bot.* (2/3/4), Pp : 384-398.
- Bakri et Haddan, 1999 : La forêt et ses ennemis. *Le Grand Livre de la Forêt Marocaine*. Mardaga éditeur. 94-100.
- BECKER M., 1988: Démarche méthodologique préconisée pour la typologie des stations forestières . In : *Colloques phytosociologiques, XIV, « Phytosociologie et foresterie »*, Nancy, pp . 299-311.
- BEGHAMI Y., 2013 : Ecologie et dynamique de la végétation de l'Aurès : analyse spatio-temporelle et étude de la flore forestière et montagnarde. Thèse de Doctort. Université Mohamed Khidhar. Biskra. 193p.

Bibliographie

- BELGOUT ,2010. Influence des facteurs bio édaphiques (litière, pluvio lessiva) sur la solubilisation du phosphore et du potassium d'un grès ferrugineux et le comportement (Croissance, biomasse et minéralisation) des plantules de cèdre de l'atlas. Cedrus atlantica dans un sol du Chéla (W. Khanchela) mém. d'ing .univ Batna
- BELLOULA N., 2012 : Etude expérimentale de l'Influence de la typologie des Cédraies sur la distribution des formes d'Azote dans certains sols du massif forestier du CHELIA (W. DE KHENCHELA). Thèse de mag. Univ. Batna 132p.
- BELOULA S., 2010 : Etude sur le dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans le Parc National de Belezma (Wilaya de BATNA) Apport de la télédétection et SIG. Thèse de mag. Univ. Batna 59p
- BELLOUMI H., 2002 : Contribution à l'étude de la régénération du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) : influence de deux modes d'élevage sur le comportement des jeunes semis en pépinière. Mem. Ing. Uni. Batna. 81p.
- BELOUAHEM-ABED DJAMILA., 2012. Etude écologique des peuplements forestiers des zones humides dans les régions de Skikda, Annaba et El Tarf (Nord-Est algérien). Thèse Doctorat Université Badji Mokhtar-Annaba, Fac des sciences, 121p.
- BENMASSAOUDA M., 1999 : Contribution à l'étude de l'influence des litières forestières (nature et âge) sur la mobilisation de certains éléments chimiques (P, K, Ca, Mg) d'un grès ferrifère des monts de Chéla W. Khenchela. Thèse ing. Univ. Batna
- BENISSAD B., 1992 : Contribution à l'étude de l'accroissement du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill) en relation avec quelques variables du milieu dans la forêt de Beniimloul, série Ras-bignoun, versant (sud-est). Thèse ingénieur, université Batna. 66 p.
- BENTOUATI A, 1993 : Première approche à l'étude de la croissance et de la productivité du Cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif de Bélezma. Thèse Mag. Uni. Batna. 63 p.
- BENTOUATI A ,2006 : Croissance, productivité et aménagement des forêts de Pin d'Alep (*Pinus halepensis*) du massif d'Ouled yagoub (Khenchela –Aures). Thèse doctorat en sciences Agronomiques. 115 pages.
- BENTOUATI R et BARITAU M., (2006) Réflexion sur le dépérissement du cèdre de l'atlas des Aures (Algérie) foret médit.,t XXVII (4) :317-320.
- BERGER A., LACROIX P., LAVENU G., LESELLIER S., REYNAUD I., TOURNADRE G., & GONZALEZ O., 2005. ArcView 9 Niveau 1. Support de cours avec exercices pratiques et données. Edition ESRI France, Meudon, p. 388.

Bibliographie

- BERGER ET ALII ; Berger, Jean-François ; Bertoncello, Frédérique ; Braemer, Frank ; Davtian, Gourgen ; Gazenbeek, Michiel (dir.), 2005 : Temps et espaces de l'homme en société. Analyses et modèles spatiaux en archéologie (actes des XXVe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes-2004), Éditions APDCA, Antibes, 2005.
- BERTHELIN.J .,1976 : Etude expérimentale de mécanisme d'altération des minéraux par des microorganismes hétérotrophe. Thèse doc. En science naturelles. Univ. De Nancy.
- BEZZALA A., 2001 Etude expérimentale de la minéralisation des litières (carbone ,azote) et du comportement des plantules de cèdre (*Cedrus atlantica*) dans deux stations forestières : cédraie et cédraie- chênaie du Chélia (W.Khenchela).thés. Ing.AGRO.Batna
- BONNEAU M et TIMBAL J. (1973) Définition et cartographie des stations conceptions françaises et étrangères Ann. Sci.forest., , 30 (3), 201-218
- BONNEAU M., 1988 : le diagnostic foliaire R.F.F. XL - n° sp.
- BOUDY P. 1950. Economie forestière Nord-Africaine : monographie et traitement des essences forestières. Ed. Larose, T2. Pp : 529-619.
- BOUDY, P. 1952 : Considération sur la forêt algérienne et sur la forêt tunisienne. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie d'Agriculture de France. T 39, séances des 8 et 15 Octobre 1952 : 529 -- 543.
- BOUZIDI ,2010. Influence des facteurs bio édaphiques (litière, pluvio lessiva) sur la solubilisation du phosphore et du potassium d'un grès ferrugineux et le comportement (Croissance, biomasse et minéralisasse) des plantules de cèdre de l'atlas. *Cedrus atlantica* dans un sol du Chélia (w. de Khanchela) mémoire ing. univ. Batna .p 154
- BREDA N., 1999 : L'Indice foliaire des couverts forestiers : mesure, variabilité et rôle fonctionnel. Revue forestière française, vol. LI, n° 2 spécial « Fonctionnement des arbres et écosystèmes forestiers. Avancées récentes et conséquences sylvicoles », 1999, p : 135-150.
- BRETHERS A., 1989 : La typologie des stations forestières. Recommandations méthodologiques. Rev. forest. française, XLI (1) : 7-28.
- BRIANE, J.-P., 1991 : Le traitement des données phyto-sociologiques sur micro-ordinateurs compatibles IBM-PC, logiciel "Anaphyto". Lab. systématique et écologie végétales, Univ. Orsay, 30 p.
- CSABA M., 1994 : Results of introduction trials with *Cedrus atlantica* in Hungary. Ann. Rech. For. Maroc (27) (special). Pp : 220-222.

Bibliographie

- DAGET, P. & GODRON, M., 1982 : Analyse fréquentielle d'écologie des espèces dans les communautés. Collection d'Ecologie (18), Masson, Paris, 163 p.
- DEBAZAC E-F, 1964 : Manuel des conifères. Ecole Nationale des eaux et des forêts Nancy, 172p.
- DECOURT, N. et LE TACON, F., 1970 : L'Epicea commun (*Picea excelsa*) sur les plateaux calcaires de l'Est de la France. Essai de prévision de la production à l'aide de déterminations pédologiques simples. Ann. Sci.Forest. 27(3), pp.255-286.
- DELKOV A. et GROZEV O. 1994. Résultats de l'introduction du *Cedrus atlantica* Manetti en Bulgarie de Sud-Ouest. In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. Ann. Rech. For. Maroc 27 (spécial). Pp : 174-185.
- DELPECH, R., DUME, G. & GALMICHE, P. & coll., 1985. Typologie des stations forestières. "Vocabulaire". Institut pour le Développement Forestier, Minist. Agriculture, Dir. Forêts, 243 p.
- DEMARTEAU, M., 2006 : Réponse de *Cedrus atlantica* aux changements climatiques passés et futurs, thèse licence en science géologique. Univ de Liège. 60p.
- DENIS P., 1997, Cartographie des stations forestières, Bois et Forêts en Pays de la Loire, n°50, pp. 2-3
- DERRIDJ, A., 1990 : Etude des populations de *Cedrus atlantica* M. en Algérie. Thèse Doc, U.P.S. Toulouse. 288p
- DJEGUI, N., P. de Boissezon and E Gavinelli. 1992 : statut organique d'un sol ferrallitique du sud Bénin sous forêt et différents systèmes de culture. Cahiers ORSTOM Série pédologie 27 :5-22 FAO-ISRIC-ISSS (Food and agriculture organization of the united nation, international soil) Référence and information centre international society for Soil Science). 1988 World Reference Base for Soil Resource FAO, Rome.
- DOUSSOT R. 1990 : Cours d'aménagement, document interne ENITEF, Les Barres, 50 p. et annexes.
- DRAPIER J., 1989 : Les stations forestières de l'Ardenne primaire [Ecologie, Potentialités, Catalogue, Cartographie], IFN, Nancy, 161 p. et annexes
- DRIOUECHE M., 2006 : Initiation aux systèmes d'informations géographiques, ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE, Département de la formation continue, Formation à l'utilisation du SIG, p 37.

Bibliographie

- DUBORDIEU (J) ,1997 : Dossier sylviculture, revue arborescence n° 68. Office national des forêts. Impression contact habillage – Beaume. 30 pages.
- DUCHAUFFOUR PH., 1988 : Abrégé de pédologie. 2 ème édition. Masson. Paris.Milan. Barcelone. Mexico, 224 p.
- DUCHAUFFOUR PH., 1989 : Bulletin d'écologie. Pédologie et groupes écologiques. Bull. Ecol. T.20,pp/1-6
- DUCRUC (P), 1991 : Planification Ecologique. Les concepts et les variables de la classification et de la cartographie écologique. Doc. Ministère de l'Environnement, Québec,
- DYKSTRA D. P., 1996.Système d'information appliquée à la foresterie. Revue international des forêts et des industries forestières (FAO). Vol. 47, No. 189. [En ligne] (Dernière visite, Aout 2010) <http://www.fao.org/docrep/w4086f/w4086f04.htm>.
- EMBERGER L., 1939 : Aperçu général sur la végétation au Maroc. Commentaire de la carte phytogéographique du Maroc 1: 1 500 000. Veroff. Geobot. Inst. Rubel Zurich, 14 40-157 et Mém. H.S. Soc. Sci. Nat. Maroc, in Emberger L, 1971, pp. 102-157.
- EMBERGER L, 1960 : Les végétaux vasculaires. Tome2. Ed. Masson & Cie, 682p.
- Fabre J.P. 1994 : Etat actuel des connaissances sur les ravageurs originaires de l'aire naturelle des cèdres parvenus en France, colonisation par les insectes d'un nouvel écosystème forestier. In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin 1993. Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial).540-551.
- ESRI, 2009. An overview of linear referencing – ArcGIS 9.1 Webhelp topic, 40 pages, [En ligne] <http://webhelp.esri.com> (dernière visite Mars, 2009)
- FAZIA K., 2010 : Etude de la diversité de l'organisation reproductive et de la structure génétique du cèdre de l'atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en peuplement naturel (Tala-guilef, Djurdjura nord-ouest Algérie)
- FAUREL L. ET LAFFITE R., 1949 : Facteurs de répartition des cèdraies dans les massifs de l'Aurès et du Belezma. Bull. Soc. Hist. Nat. Afrique du Nord. t. 40 Alger p. 178.
- GEGOUT, J.-C. & HOUILLIER, F., 1993. Apport de l'Analyse Factorielle des Correspondances sur Variables Instrumentales en typologie des stations : Illustration sur la plaine de la Lanterne (Hte-Saone). Rev. Forest. Fr., XLV, 5, 539-547.

Bibliographie

- GOUAREF K., 2004 : Contribution à l'étude expérimentale de quelques éléments biogènes P,K, Mg, Na dans deux substrats forestiers par des microflores telluriques et par un champignons mycorizien *Tricholoma terreum* mém d'ing. Dép agr fac science p.128
- GOUAREF K., 2012 : Contribution à l'étude cartographique et écologique du dépérissement du Cèdre de l'Atlas dans le massif de GUETIANE (W-BATNA) Thèse Mag. Université de Batna. 122p.
- GOUNOT M., 1969 : Méthodes d'étude quantitative de la végétation. Masson et Cie. Paris, 314 p.
- GRANDJEAN G., 1976 : Collecte et saisie des données de base pour l'élaboration de la minute codée, Extrait du cours de Phytoécologie de l'ENITEF, Nogent sur Vernisson, 2 p.
- GRANIER, B., et al 1995: New data on a Liassic club-shaped Dasycladacean. – In: GÜVENÇ, T. (ed.): 6th International Symposium on Fossil Algae and Carbonate Platforms, Ankara (September 18th–22nd), Abstracts, 1 p.
- GAUSSEN H, 1967 : Les gymnospermes actuelles et fossiles. Faculté des sciences de Toulouse, Fasc. 7, 477p
- GHOU L.F., 1993 : Etude expérimentale de l'influence de l'âge des litières forestières sur la mobilisation de quelques éléments minéraux Fe, Ca, Mg, Na d'une roche mère du grès barrémien des monts du Belezma
- HADJADJ M.F., 2011 : Apport des SIG et des images satellites pour la cartographie numérique de la forêt du Chettabah (Wilaya de Constantine) (Modélisation climatique et classification). Mémoire de Mag. Université de Batna. 187p
- HALITIM, S. 2006 : Contribution à l'étude de la réserve utile des sols de cédraies dans les Aurès : influence des facteurs édaphiques. Mémoire de Mag. Université de Batna. 138p
- Halle F., Martin R., 1968. Etude de la croissance rythmique chez *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. (Euphorbiaceae - Crotonoïdées). *Adansonia*, série 2, 8, 4, 475-503.
- HERBERT I., REBEIROT F. 1981 : Les futaies jardinées privées des hautes chaînes du Jura, Mémoire de troisième année ENITEF, Les Barres, 125 p. et annexes.
- HOUAMEL. A., 2012 : Contribution à l'étude du dépérissement de la cédraie dans la région de Batna (cas du parc national du Belezma). Thèse de mag. Univ. De Tlemcen. p84
- JOUD Didier., 1889 : Typologie des stations forestières et interprétations biogéographiques, application a une comparaison bas-dauphine / avant-pays savoyard. *Rev. Ecol. Alp.*, Grenoble, tome III, 1996, p. 21-40

Bibliographie

- JULIEN J.L. et TURPIN A. 1999 : Surfaces réactives et raisonnement de quelques propriétés chimiques de sols acides. C.R. Acad Agri. De France. 85.2, 22-35.
- KADI. R 2003., Etude expérimentale de l'influence de certains facteurs bio-édaphiques (pluvioléssivats, litière, écorce) sur l'évolution quantitative de certains éléments (N, P et K) dans les sols forestiers de monts du Chéïa W.Khenchela. incidence sur le comportement des plantes de cèdre de l'atlas (Cedrus atlantica Manetti). Thèse.ing univ.Batna
- KATY Y ., 2012 : Contribution à la maîtrise de la fertilisation phosphatée des sols de montagne : cas des sols de vergers de pommiers d'Ichemoul (Aures-Algerie) Thèse de mag. Univ. De Batna. 74 p
- KHANFOUCI M.S., 2005 : Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica M.) dans le massif du Belezma. Thè. Mag. Uni. Batna. 249p.
- KHERCHOUCHE D., 2003 : Typologie écologique et phytosociologique des stations et croissance des peuplements de pin d'Alep (Pinus halepensis Mill) Dans le massif des Béné-Imloul (Aurès). Algérie. 87 p
- KROUCHI F., 1995 : Contribution à l'étude de l'organisation reproductive du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) à Tal-Guileg (Djurdjura Nord Occidental). Thè. Mag. INA. Alger. 105p
- LAFITTE. R ., 1939 : esquisse géologique de l'Aures, thèse ès science – Paris, France.484p.
- LANDMANN G., BREDA N., HOULLIER F., DREYER E., ET FLOT J-L., 2003 : Sécheresse et canicule de l'été 2003 : quelles conséquences pour les forêts françaises ? Rev. For. Fr. LV - 4-2003. p:299-308.
- LEBART, L et al., 1982 : Traitement des données statistiques. Méthodes et programmes. Dunod, 2eme ed., Paris, 510 p.
- LECOMPTE M., 1969 : La végétation du Moyen-Atlas Central, trav. Inst. Se. Chérifien, Fac. Sci. Bot. et Biol. Végé. 31, 16,1 carte et notice.
- LEMOUADAA M ., 2001 : Contribution à l'étude expérimentale de l'influence de la qualité des litières et feuillage vert de cèdre (Cedrus atlantica) sur la solubilisation de certains éléments biogènes P, K, Ca et Mg d'un grès ferrifère des monts du Chéïa (W.Khenchela). thèse ing. Univ. Batna
- LE HOUEROU H. N., 1980 : L'impact de l'homme et de ses animaux sur les forêts méditerranéennes. Forêt méditerranéenne II, I, pp31-34.

Bibliographie

- LEDANT, JP., 1975: Essences forestières algériennes (Indigènes et exotiques) Notes de dendrologie. Dépt de forêt. INA El-Harrach .Alger :133p
- LEGROS J.-P., 1996 : Cartographie des sols, De l'analyse spatiale à la gestion des territoires, Presses polytechniques et universitaires romandes, Coll. Gérer l'environnement, 321 p.
- LEPOUTRE B. 1964 : Premier essai de système sur le mécanisme de régénération du cèdre dans le moyen Atlas marocain. Ann. Rech. For. Au Maroc. Tome VII. Pp: 157-163.
- LUCOT E., GAIFFE M., 1994 : Cartographie de massifs forestiers témoins sur substrats calcaires du Nord-Est de la France, Intégration de l'indice de pierrosité dans la caractérisation des sols, Université de Franche-Comté, Laboratoire de pédologie, 12 p. et annexes.
- MALKI H., 1992 : Contribution à l'étude de l'influence du climat et des facteurs physiques sur la régénération naturelle du cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans les monts du Belezma (Algérie). Thèse. Doc. Université de Paris- Sorbonne. 187p.
- MARTIN (J) ,2000 : Sistemas de informacion geografica, aplicacion del GIS a la gestion forestal. Universidad d'Alicante. 50 paginas.
- M'HIRIT O., 1982 : Études écologiques et forestières des cédraies du Rif Marocaine : essai sur une approche multidimensionnelle de la phytoécologie et de la production du cèdre de l'Atlas. Ann. Rech. For. Maroc. Vol. 2. 499 p.
- M'HIRIT., 1994 : Le cèdre de l'Atlas (Cedrus atlantica Manetti). Présentation générale et état des connaissances à travers le réseau Silva Mediterranea "Le Cèdre". In : Le cèdre de l'Atlas. Actes du séminaire international sur le cèdre de l'Atlas. Ifrane (Maroc), 7 – 11 Juin1993. Annales de la recherche forestière au Maroc 27 (spécial). 4-21.
- M'HIRIT O. et al., 2006 : Le cèdre de l'Atlas : Mémoire du temps. Éd. MARDAGA. 288 p.
- MICHELE., 2001. Natural durability. Physical properties of atlas cedar (Cedrus atlantica Manatti) wood from southern Italy. Annals of forest science 58 :607-613.
- Mien Tran-Ha - Georges Perrotte - Thomas Cordonnier - Pierre Duplat Rev. For. Fr. LIX - 6-2007
- MONET, L. 1964 : Manuel de Paléontologie végétale. Masson et Cie, 3^{ème} édition. Librairie de l'Académie de Médecine. Paris. 168 - 169.
- Nambiar E.K.S. & R. Sands., 1993 : Competition for water and nutrients in forest. Can. J. For. Res., 23, 1955-1968.

Bibliographie

- NEDJAH A., 1988 : La cédraie de Chréa. (Atlas Blideen) : Phénologie, productivité, régénération. Thèse. Doc. Univ. De Nancy. 184p.
- NEZAR Kebaili.M., 2009 : Influence de quelques variables du milieu sur la régénération naturelle du cèdre de l'atlas (Cedrus atlantica Manetti) dans le massif de Belezma Batna. thèse de mag. Univ de Batna. P73.
- OULD RABAH.F., 1991 : Influence de la nature des litières forestières (Cèdre- chêne) sur la mobilisation de quelques éléments minéraux Fe, P, K, Ca, Mg d'une roche mère (grès barrémien du mont du Belezma, mém d'ing. INESA
- PARDE J., 1956 : Une notion pleine d'intérêt la hauteur dominante des peuplements forestiers . Revue forestière française, n° 12, pp. 850-856.
- PEYRE C., 1979 : Recherches sur l'étagement de la végétation dans le massif du Bou Iblane (Moyen-Atlas oriental-Maroc). Thèse Univ. Droit. Econ. Scien. Aix Marseille, pp. 1-149.
- Pujos A., 1966 : Les milieux de la cédraie marocaine. Ann. Rech. For. Maroc, 8, Annexe, (cartes et graph.). pp. 1-383.
- Quézel P., 1956 : Contribution à l'étude des chênes à feuilles caduques d'Algérie. Mém. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, N.S., 1 (1), 1-57.
- QUEZEL M., BARBERO M. ET BENABID A., 1987 : Contribution à l'étude des groupements forestiers et préforestiers du Haut-Atlas oriental (Maroc). Ecologia mediterranea. Tome XIII, Fasc. 1/2, pp. 107-117.
- RAMEAU, J.-C., 1986 : Les études stationnelles forestières en France. ENGREF, Nancy, 90 p.
- RAMEAU J.-C., 1987 : Contribution phytoécologique et dynamique à l'étude des écosystèmes forestiers. Application aux forêts du nord-est de la France. Thèse Doctorat d'Etat, Université de Franche-Comté, Besançon, 344 p.
- RAMEAU, J.-C., 1988 : Phytosociologie forestière : Caractères et problèmes spécifiques. Relations avec la typologie forestière. Coll. Phyto-sociologiques, XIV : Phytosociologie et Foresterie, Nancy, 20-22 Nov. 1985, pp. 687-738.
- RAMEAU (J.-C.), MANSION (D.), DUMÉ (G.), et al., Flore forestière française, 2 tomes, IDF, Paris, 1989, 1993.
- RIPERT C. et BOISSEAU B., 1993 : Ecologie et croissance du cèdre de l'Atlas en Provence Silva Mediterranea Actes du Séminaire International sur le cèdre de l'Atlas. Ifran (Maroc) ; 7-11 juin 1993. Pp : 156-164.

Bibliographie

- ROVIRA P, VALLEJO VR .,1997 : Organic carbon and nitrogen mineralization under Mediterranean climatic conditions: the effects of incubation depth. *Soil Biol Biochem* 29: pp1509–1520
- SCHORENBERGER A., 1970 : Etude de la végétation de l'Aurès oriental. FAO. Projet Algérie. Pp : 15-69.
- SELTZER P., 1946 : le climat de l'Algérie. Travaux de l'Institut de Météorologie et de Physique du Globe. Université D'Alger. Éd Carbonel. 219p
- SHORT, N. M., 2000 : Remote Sensing Tutorial. Edition NASA. [En ligne] [http:// rst. gsfc. nasa. gov/](http://rst.gsfc.nasa.gov/) (Dernière visite, Décembre 2010)
- STEWAR P., 1969 : Quotient pluviométrique et dégradation de la biosphère. *Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Du Nord ; Alger*, 59 : 14.
- TERRAS Mohamed., 2011 : Typologie, cartographie des stations forestières et modélisations des peuplements forestiers. Cas des massifs forestiers de la wilaya de Saida (Algérie), Thèse. Doc. Université de Tlemcen. 214p.
- TIMBAL Jean., 1982 : La typologie et la cartographie des stations forestières en France. Application aux forêts méditerranéennes. forêt méditerranéenne. t. I V, n° 1, 1982
- TIMBAL, J. & coll., 1984 : Recommandations pour la présentation des catalogues de stations forestières. Groupe de travail sur la typologie des stations forestières, Commission "Méthodologie". Minist. Agriculture, Dir. Forêts, 41 p.
- TOTH, J. 1971 : Le cèdre (*Cedrus atlantica*) en France. *Bull. de vulgarisation forestière* n° 4 : 5 - 19.
- TOTH, J. (1978 a) : Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* M.) dans le Sud de la France. Thèse. Doc. Ing. Fac. St. Jérôme -- Marseille, France : 136 p.
- TOTH, J., 1980 : Le cèdre dans quelques pays du pourtour méditerranéen et dans deux autres pays à grande importance forestière. *Forêt méditerranéenne*. T.II.N°1, pp.23-30.
- TOTH, J., 1981 : Contribution à l'étude monographique du cèdre méditerranéen. INRA. Station d'Avignon : 25 p.
- TOTH J., 1987. Effets des facteurs d'environnement sur l'accroissement du cèdre de l'Atlas. *Bull. Soc. Et Nat. Vaucluse*. Pp : 71-76.
- TOTH J 2005 : le cèdre de France. Etude approfondie de l'espèce. Paris, Le harmattan .Biologie, Ecologie, Agronomie 207p

Bibliographie

- Watt M.S., M.O. Kimerley, B. Richardson, D. Whitehead & E.G. Mason, 2004.- Testing a juvenile tree growth model sensitive to competition from weeds, using *Pinus radiata* at two contrasting sites in New Zealand. *Can. J. For. Res.*, 34, 1985-1992.
- WEBEN Ch., 1998 : Comment cartographier sa forêt, *Forêts de France*, n°413, pp. 26-28
- ZAKI A.,1968 : Premières études sur les phénomènes de dormance de la graine de cèdre et sur l'influence des différents facteurs à l'égard de la germination. *Ann. Rech. For.*, 1968
- ZIAT M., (1968). Ecologie, productivité et modèles de croissance du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) dans le massif du Bou Iblane Moyen-Atlas oriental. Thèse 3ème cycle, Inst. Agron. et vétér. Hassan II, Rabat, Maroc, p. 132.

Liste des abréviations

C : Carbone

CaCO₃ : Calcaire total

C° : Degré Celsius

CEC : Capacité d'échange cationique

Dm : Diamètre moyen

Dg : Surface terrière moyenne

Ep : Epaisseur

G/ha : Surface terrière par hectare

Hm : Hauteur moyenne

Hg : L'arbre de surface terrière moyenne

K : Potassium

MO : Matière organique

N : Azote

N/ha : Densité des peuplements (nombre d'arbre par hectare)

O.N.T.F : l'office national des travaux forestiers

p : phosphore

pH : Potentiel hydrique

S : Station

SIG : Système d'information géographique

V/ha : Volume par hectare

Figure 1: Répartition actuelle du Cèdre de l'Atlas	16
Figure 2: Vision de l'écosystème élémentaire, cellule de base de paysage (principe de stations forestières).....	31
Figure 3 : Présentation de la structure raster	44
Figure 4 : Présentation de la structure vectorielle.....	44
Figure 5 : Figure 5 : Situation géographique des cédraies de Chélia Echelle : 1/500.000	49
Figure 6 : Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls de la région de Chélia.....	63
Figure 7 : Climagramme d'emberger « Zone d'étude ».....	65
Figure 8 : Représentation schématique de la méthodologie de construction de la carte des stations forestières (MARTIN, 2000).....	72
Figure 9 : Photographie de la cédraie mono-spécifique du versant Sud.....	75
Figure 10: Photographie du profil pédologique de la station 1	76
Figure 11 : Photographie de la 2ème station	78
Figure12 : photographie présentant le profil pédologique de la station 2.....	79
Figure 13 : Photographie représentant la station 3.....	81
Figure 14 : Photographie du profil pédologique réalisé dans la station 3.....	82
Figure 15 : Photographie représentant la station 4.....	84
Figure 16 : Photographie présentant le profil pédologique de la station 4.....	85
Figure 17 : Carte des stations forestières de la zone d'étude.....	90
Figure 18 : Répartition des fractions granulométriques des stations étudiées....	92
Figure 19 : Valeur des pH dans les profils étudiés.....	93
Figure 20 : Evolution du taux de matière organique des sols dans les stations étudiées.....	94

Liste des figures

Figure 21: Teneur du carbone dans le sol des stations étudiées.....	95
Figure 22 : Distribution d'azote dans les stations étudiées.....	96
Figure 23: Distribution de la CEC des sols dans les stations étudiées.....	98
Figure 24 : Diamètre moyen des peuplements des stations étudiées.....	100
Figure 25 : Hauteur moyenne des peuplements des stations étudiées	100
Figure 26 : Densité moyenne des peuplements des stations étudiées.....	101
Figure 27 : Volume moyen des peuplements des stations étudiées.....	103

Liste des tableaux

Tableau 1 : Précipitations mensuelles moyennes enregistrées de la station d'El hemma pendant la période 1995-2014.....	58
Tableau 2: Précipitations moyennes annuelles après extrapolation en fonction de l'altitude...59	
Tableau 3 : Températures minimales, maximales, et moyennes mensuelles en C° (1989-2011)	59
Tableau 4: Températures moyennes mensuelles extrapolées en fonction de l'altitude.....	61
Tableau 5 : Evaluation du Quotient pluviothermique et des étages bioclimatiques de la zone d'étude.....	64
Tableau 6 : Analyse physico-chimique et physico-hydrique du sol de la station 1	77
Tableau 7: Caractéristiques dendrométriques de la station 1	77
Tableau 8 : Analyse physico-chimique et physico-hydrique du sol de la station 2.....	80
Tableau 9: Caractéristiques dendrométriques de la station 2.....	80
Tableau 10 : Analyse physico-chimique et physico-hydrique du sol de la station 3.....	83
Tableau 11: Caractéristiques dendrométriques de la station 3.....	83
Tableau 12 : Analyse physico-chimique et physico-hydrique du sol de la station 4.....	86
Tableau 13: Caractéristiques dendrométriques de la station 4.....	86
Tableau 14 : Analyse de la variance pour le taux d'argile du sol des stations étudiées.....	94
Tableau15 : Analyse de la variance pour le pH du sol des stations étudiées.....	96
Tableau16 : Analyse de la variance pour le taux de la M.O du sol des stations étudiées.....	98
Tableau17 : Analyse de la variance pour la teneur en azote du sol des stations étudiées.....	100
Tableau18 : Analyse de la variance pour la CEC du sol des stations étudiées.....	101
Tableau19 : Analyse de la variance pour le diamètre moyen de cèdre des stations étudiées.	103
Tableau 20 : Analyse de la variance pour la hauteur moyenne de cèdre des stations étudiées.....	104
Tableau 21 : Analyse de la variance pour la densité des peuplements de cèdre dans stations étudiées.....	105

Liste des tableaux

Tableau 22 : Teneurs des aiguilles en éléments chimiques N.P.K pour l'ensemble des stations d'étude.....	106
Tableau 23 : Analyse de la variance pour la teneur des aiguilles en N des stations étudiées.	107
Tableau 24 : Analyse de la variance pour la teneur des aiguilles en K des stations étudiées.	107
Tableau 25 : Analyse de la variance pour la teneur des aiguilles en N des stations étudiées.	108
Tableau 26 : Analyse de la variance concernant les volumes des cèdres des stations étudiées	109
Tableau 27 : Détermination des groupes homogènes en fonction des volumes des cèdres...	110

Annexes

Annexe N°1

Analyse de variance pour Dm: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
A1E1C1	5	159,23	31,846	6,68583
A2E2C2	5	142,32	28,464	16,23403
A3E3C3	5	156,79	31,358	7,81792
A4E4C4	5	160,04	32,008	6,23192

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	41,32498	3	13,7749933	1,49040899	0,25500611	3,23887152
A l'intérieur des groupes	147,8788	16	9,242425			
Total	189,20378	19				

Annexe 2

Analyse de variance Hm: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
A1E1C1	5	49,7125	9,9425	1,21491875
A2E2C2	5	50,64	10,128	2,88047
A3E3C3	5	47,01	9,402	5,65152
A4E4C4	5	52,67	10,534	1,65108

Annexes

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	3,31219844	3	1,10406615	0,3874599	0,7635579	
A l'intérieur des groupes	45,591955	16	2,84949719	9	9	3,23887152
Total	48,9041534	19				

Annexe N° 3

Analyse de variance G/ha: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
A1E1C1	5	1765	353	264,5
A2E2C2	5	1895	379	505
A3E3C3	5	1525	305	625
A4E4C4	5	2112,5	422,5	818,75

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	36230,9375	3	12076,9792	21,826687	6,7052E-	
A l'intérieur des groupes	8853	16	553,3125	8	06	3,23887152
Total	45083,9375	19				

Annexe N °4

Analyse de variance V/ha: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
A1E1C1	5	155,25	31,05	6,50115
A2E2C2	5	182,3125	36,4625	6,1913187
A3E3C3	5	227,15	45,43	5
A4E4C4	5	254,2625	50,8525	3,69945
				3,2303187
				5

Annexes

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	1181,38778	3	393,795927	80,275437	7,3624E-	3,23887152
A l'intérieur des groupes	78,48895	16	4,90555938	9	10	
Total	1259,87673	19				

Annexe N° 5

Analyse de variance N : un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Alt1N1C1	5	30,5	6,1	0,29
				0,1909187
Alt2N2C2	5	32,2875	6,4575	5
				0,0025687
Alt3N3C3	5	2,8125	0,5625	5
Alt4N4C4	5	2,86	0,572	0,00172

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	163,425903	3	54,4753008	449,08869	1,1956E-	3,23887152
A l'intérieur des groupes	1,94083	16	0,12130188	6	15	
Total	165,366733	19				

Annexes

Annexe N° 6

Analyse de variance P: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
				0,0054687
Alt1N1C1	5	21,6875	4,3375	5
Alt2N2C2	5	22,2	4,44	0,001
Alt3N3C3	5	22,38	4,476	0,13588
Alt4N4C4	5	22,45	4,49	0,2153

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilit é</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
				0,2653289	0,8493749	
Entre Groupes	0,07117094	3	0,02372365	9	3	3,23887152
A l'intérieur des groupes	1,430595	16	0,08941219			
Total	1,50176594	19				

Annexe N°7

Analyse de variance K: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
Alt1N1C1	5	7,325	1,465	0,002425
				0,0012687
Alt2N2C2	5	8,5125	1,7025	5
Alt3N3C3	5	8,35	1,67	0,00295
Alt4N4C4	5	9,03	1,806	0,00173

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilit é</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
				48,758869		
Entre Groupes	0,30622094	3	0,10207365	5	2,848E-08	3,23887152
A l'intérieur des groupes	0,033495	16	0,00209344			

Annexes

Annexe N°8

Analyse de variance pH: un facteur

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
C1	5	36,42	7,284	0,00143
C2	5	37,13	7,426	0,05888
C3	5	35,25	7,05	0,00075
C4	5	38,11	7,622	0,04837

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	0,870175	3	0,29005833	10,6025161	0,0004403	3,23887152
A l'intérieur des groupes	0,43772	16	0,0273575			
Total	1,307895	19				

Annexe N°9

Analyse de variance: un facteur capacité d'échange cationique

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
C1	5	89,05	17,81	4,33735
C2	5	105,23	21,046	4,30628
C3	5	153,62	30,724	5,71183
C4	5	158,87	31,774	4,17153

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes	727,615695	3	242,538565	52,3643754	1,70469E-08	3,23887152
A l'intérieur des groupes	74,10796	16	4,6317475			
Total	801,723655	19				

Annexes

Annexe N°10

Analyse de variance: un facteur Azote total du sol

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillon s</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
C1	5	1,31	0,262	0,00092
C2	5	1,17	0,234	0,00088
C3	5	1,75	0,35	0,0016
C4	5	2,13	0,426	0,00098

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilit é</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes A l'intérieur des groupes	0,1144	3	0,038133333	34,824961 9	3,0342E- 07	3,2388715 2
Total	0,13192	19	0,001095			

Annexe N° 11

Analyse de variance: un facteur
matière organique du sol

RAPPORT DÉTAILLÉ

<i>Groupes</i>	<i>Nombre d'échantillon s</i>	<i>Somme</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Variance</i>
C1	5	35,94	7,188	1,86417
C2	5	36,74	7,348	0,75057
C3	5	43,39	8,678	0,78532
C4	5	42,54	8,508	1,24537

ANALYSE DE VARIANCE

<i>Source des variations</i>	<i>Somme des carrés</i>	<i>Degré de liberté</i>	<i>Moyenne des carrés</i>	<i>F</i>	<i>Probabilité</i>	<i>Valeur critique pour F</i>
Entre Groupes A l'intérieur des groupes	8,914375	3	2,97145833	2,5586077 8	0,0914755 9	3,23887152
Total	18,58172	16	1,1613575			
Total	27,496095	19				

Annexes

Annexe N°12

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillon <i>s</i>	Somme	Moyenne	Variance
C1	5	196,96	39,392	8,89157
C2	5	151,8	30,36	4,3933
C3	5	235,4	47,08	12,10235
C4	5	239,07	47,814	7,08293

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilit é	Valeur critique pour F
Entre Groupes A l'intérieur des groupes	995,439655	3	331,813218	40,8760931	9,9582E- 08	3,238871517
	129,8806	16	8,1175375			
Total	1125,32026	19				

Annexe 13 :

Méthode d'analyse physico-chimique du sol et des aiguilles

➤ Granulométrie

L'analyse granulométrique s'effectue sur une prise d'essai de terre fine (< 2 mm) et a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions de particules minérales élémentaires du sol et donc la texture des sols (DUCHAUFOR, 1977).

Son principe est basé sur la vitesse de sédimentation des particules séparées et dispersées en détruisant leur ciment (calcaire et matière organique) par une attaque à l'eau oxygénée.

Le fractionnement de ces particules se fait par l'intermédiaire de la pipette de Robinson, qui permet la détermination des fractions des argiles et des limons fins. Ensuite, les sables fins et grossiers sont mesurés par tamisage ; les limons grossiers, sont calculés à partir des résultats précédents (BAIZE, 1988).

➤ Mesure du pH

La mesure du pH s'accomplit par lecture directe sur pH mètre, d'une suspension formée de 10 g de sol dissout à l'aide d'un agitateur pendant 1 h dans 25 ml d'eau distillée (le rapport sol/eau = 1/2,5). Après l'agitation et avant la lecture du résultat, il faut laisser la solution au repos durant 5 minutes.

➤ Dosage du calcaire total (CaCO₃)

Le principe du dosage du calcaire total est basé sur la mesure du CO₂ dégagé du calcaire (CaCO₃) se trouvant dans 0,5 g de terre fine neutralisée par 5 ml d'acide chlorhydrique (HCl) (N=1/2).

Annexes

Ce dispositif réactionnel est appelé Calcimètre de BERNARD ou procédé gazométrique, qui est composé d'une burette pour la mesure du volume du CO₂ dégagé, d'un tube à essai pour le HCl et d'un Erlen contenant le sol.

➤ **Le carbone organique**

Le carbone organique est dosé par la méthode ANNE (1945) : attaque à chaud en milieu sulfurique de la matière organique par le bichromate de potassium et titration en retour de l'excès de K₂Cr₂O₇ par du sulfate de fer et d'ammonium (sel de MOHR)

➤ **Dosage de l'azote total**

Le dosage de l'azote total est effectué par la méthode de KJELDAHL qui se déroule conformément à ces deux étapes :

- Minéralisation de l'azote organique par de l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseurs
- Distillation de l'azote par entrainement à la vapeur et piégeage dans de l'acide borique.

➤ **Détermination de la capacité d'échange cationique**

La CEC est déterminée par la méthode de METSON, le sol est saturé par une solution d'acétate d'ammonium (CH₃COO NH₄) N à pH 7. L'ammonium en excès est éliminé par l'alcool (éthanol : C₂H₅OH) et le NH₄ échangé est déplacé par une solution normale de KCl. Le dosage est effectué par distillation de l'ammonium (BAIZE, 1988).

➤ **Dosage du phosphore du sol**

Après extraction, le dosage s'effectue par spectrophotométrie colorimétrique à une longueur d'onde de 650 μm.

➤ **Dosage du phosphore et potassium foliaires**

On calcine la matière végétale pour transformer la matière organique en matière minérale, puis on solubilise les cendres dans une solution chlorhydrique à 5 % puis on dose les éléments totaux dans la solution avec les mêmes méthodes internationales de dosage.

Résumé

La typologie et la cartographie des stations forestières ont été étudiées dans certains monts du Chéla, comme il a été envisagé de caractériser l'effet du type de station sur les facteurs pédologiques, dendrométriques et éco-physiologiques.

Cette investigation a révélé l'existence, en fonction de certains paramètres, la formation végétale, l'exposition et l'altitude, de quatre cédraies : une cédraie mono spécifique versant sud, et deux autres cédraies, une cédraie mono-spécifique et une cédraie- chénaie à exposition nord, toutes situées à une tranche altitudinale 1700- 1900 m, la quatrième cédraie se situe à 2000 m d'altitude sur versant nord.

Cette étude montre que la station des hautes altitudes présente les meilleurs effets sur le plan pédologique, dendrométrique et éco-physiologique.

Pour ce qui est de la distribution spatiale de ces stations, l'étude cartographique faite sur une superficie de 2897 ha révèle l'existence de 5 stations complexes composées de sous stations différentes au plan de l'orientation.

Au plan productif, le classement des stations s'établit comme suit : cédraie haute altitude nord > cédraie- chénaie nord > cédraie mono-spécifique nord > cédraie mono-spécifique sud.

Mots clés : typologie des cédraies, cartographie, station de cèdre, facteurs pédologiques, paramètres dendrométriques, caractéristiques éco-physiologiques, classification des cédraies

ملخص

التصنيف ورسم خرائط لمحطات الغابات قد درست في بعض جبال شيليا، كذلك تقديرات لوصف تأثير نوع المحطة على عوامل التربة، خصائص الأشجار ، ومنظمة التعاون الاقتصادي-البيولوجية

هذا التحقيق كشف أن، استناداً إلى معايير معينة تكوين النبات والتعرض والارتفاع، من أربعة محطات: غابة وحيدة النوع الغابي أرز اطلسي تتدفق جنوباً، واثنين آخرين غابة أرز وحيدة النوع الغابي وغابة أرز ثنائية النوع الغابي بلوط اخضر و ارز اطلسي. في المنحدر الشمالي، تقع جميعها في 1700- 1900 م يقع نطاق الغابات الرابع من الأرز على علو 2000 متر في المنحدر الشمالي

وتبين هذه الدراسة أن غابة الأرز عالية الارتفاع شمال تعرض أفضل آثار على مستوى التربة، التقديرات والبيولوجية الإيكولوجية من حيث التوزيع المكاني لهذه المحطات، دراسة الخرائط عملت في منطقة 2897 هك تكشف عن وجود 5 محطات معقدة تتألف من المحطات الفرعية من حيث التوجه

الخطة الإنتاجية، وترتيب المحطات على النحو التالي: غابة الأرز عالية الارتفاع شمال < غابة أرز ثنائية النوع الغابي < غابة أرز وحيدة النوع الغابي في المنحدر الشمالي < غابة أرز وحيدة النوع الغابي في المنحدر الجنوبي

الكلمات الرئيسية: تصنيف المحطات الغابية ، رسم الخرائط، محطة الأرز، وعوامل التربة، خصائص أشجار الأرز

، الخصائص البيولوجية الإيكولوجية، تصنيف محطات الأرز