

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

**UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR DE BATNA
INSTITUT DES SCIENCES VETERINAIRES ET DES
SCIENCES AGRONOMIQUES**



MEMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Filière

SCIENCES AGRONOMIQUES

Option

Forêts et conservation des sols

Présenté par :

BELLOULA Nassima

THEME

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)

Jury :

Président Dr A.BENTOUATI
Examineur Dr H.SIDI HACHMI
Examineur Dr ZOUAOU
Rapporteur Dr H.MESSAADIA

Grade et université :

Mc (A). Université de BATNA
Mc (A). Université de BEJAIA
Mc (A). Université de BATNA
M c (B). Université de BATNA

Année 2011

TABLE DES MATIERES

Introduction générale

Première partie : Synthèse bibliographique

Chapitre I : Le cèdre de l'Atlas

Introduction

- I-1- Caractéristiques botaniques du Cèdre de l'Atlas
- I-2- Caractérisation physiographiques du Cèdre de l'Atlas.
 - I-2-1- Le climat
 - I-2-2- Le substrat
 - I-2-3- Exposition
 - I-2-4- Altitude
- I-3- Aire de répartition
 - I-3-1- Aire naturelle
 - I-3-2- Aire d'introduction
- I-4- Association du Cèdre de l'Atlas

Chapitre II : Peuplements forestiers et matières organiques des sols

Introduction

- II Les matières organiques dans les sols forestiers
 - II-1- Source de la matière organique du sol
 - II-2- Nature de la matière organique
 - II-3- Rôle de la matière organique dans le sol
 - II-4- Dynamique de la matière organique
 - II-4-1- Processus de décomposition des tissus végétaux
 - II-4-2- Importance des cycles biogéochimiques dans le recyclage de la matière organique
 - II-4-3- Minéralisation de la matière organique
 - II-5- Facteurs affectant la minéralisation de la matière organique
 - II-5-1- Action de la végétation
 - II-5-2- Action de la texture
 - II-5-3- Action du Ph
 - II-5-4- Action de la température
 - II-5-5- Action des éléments minéraux
 - II-6- Peuplements forestiers et matières organiques dans les sols
 - II-6-1- Impact des peuplements forestiers sur les propriétés physiques et chimiques du sol
 - II-6-2- Influence des peuplements forestiers sur la disponibilité en éléments nutritifs

Chapitre III : L'Azote dans le sol

Introduction

- III-1- Rôle et importance de l'Azote
- III-2- Sources de l'Azote dans le sol
- III-3- Diverses formes d'Azote dans le sol

- III-3-1- L'Azote organique
- III-3-2- L'Azote minérale
- III-4- Dynamique de l'Azote dans le sol
- III-4-1- L'humification
- III-4-2- La minéralisation
- III-4-2-1- L'ammonification
- III-4-2-2- La nitrification
- III-5- Facteurs affectant la minéralisation de l'Azote
- III-5-1- Niveau de la nappe phréatique
- III-5-2- Température et humidité
- III-5-3- Composition et nature de la matière organique
- III-5-4- Composition élémentaire du sol
- III-5-5- Activité biologique
- III-6- Hydrolyse acide: aspect biochimique
- III-6-1- Les aminoacides
- III-6-2- Les hexosamines
- III-6-3- L'azote ammoniacal libéré par hydrolyse acide
- III-6-4- Forme d'azote hydrolysable non identifié
- III-6-5- L'azote non hydrolysable
- III-7- Peuplements forestiers et Azote dans le sol

Deuxième partie :
Zone d'étude, matériels et méthodologie
Chapitre I :
Description de la zone d'étude

- I-1- Situation géographique
- I-2- Caractéristiques orographiques
- I-3- Caractéristiques lithologiques
- I-4- Caractéristiques pédologiques
- I-5- Caractéristiques Hydrologiques
- I-6- Caractéristiques climatiques
- I-6-1 - Les précipitations
- I-6-2- Les températures
- I-6-3- Autres données climatiques
- I-6-4- Les indices climatiques
- I-6-4-1- Le diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN
- I-6-4-2- Le Climagramme d'EMBERGER
- I-7- Description de la végétation des stations étudiées

Chapitre II :
Matériels d'étude

- II-1- Ouverture des fosses
- II-2- Description des profils
- II-2-1- Description du profil I (Clairière)

- II-2-2- Description du profil II (cédraie pure)
- II-2-3- Description du profil III (Cédraie- Chênaie)
- II-2-4- Description du profil IV (Cédraie à Thurifère)

Chapitre III: Méthodologie

- III-1- Réalisation des analyses préliminaires au laboratoire
- III-2- Dosage des différentes fractions d'Azote
 - III-2-1- Dosage de l'Azote total
 - III-2-1-1- Principe
 - III-2-2- Dosage de l'Azote minéral
 - III-2-2-1- Principe
 - III-2-3- Dispositif expérimental du fractionnement de l'Azote organique
 - III-2-3-1- Principe
 - III-2-3-2- Technique de l'hydrolyse acide
 - III-2-3-3- Mode opératoire
 - a) L'hydrolyse acide
 - b) Détermination de l'azote hydrolysable distillable NHd
 - c) Détermination de l'azote hydrolysable total NH
 - d) Détermination de l'azote hydrolysable non distillable NHnd
 - e) Détermination de l'azote non hydrolysable Nnh

Troisième Partie :

Résultats et discussion

- I- Distribution de l'azote dans les sols de la cédraie pure
 - I-1- Distribution des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie pure
 - I-2- Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie pure
 - I-3- Distribution des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie pure
- II- Distribution de l'azote dans les sols de la cédraie- chênaie
 - II-1- Distribution des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie- chênaie
 - II-2- Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie- chênaie
 - II-3- Distribution des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie- chênaie
- III- Distribution de l'azote dans les sols de la cédraie- thuriferaie
 - III-1- Distribution des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie – thuriferaie
 - III-2- Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie- thuriferaie
 - III-3- Distributions des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie- thuriferaie
- IV- de la distribution de l'azote dans les différentes stations étudiées Comparaison
 - IV-1- Comparaison de la distribution l'azote total dans les différentes stations étudiées
 - IV-2- Comparaison de la distribution de l'azote minéral dans les différentes stations étudiées
 - IV-3- Comparaison de la distribution de l'azote organique dans les différentes stations étudiées

Conclusion générale

Références bibliographiques

Annexes

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale :

Dans le massif forestier des Aurès, les cédraies ont un rôle très important. Elles constituent en effet une source de bois pour les populations, et peuvent servir de pâturage pour leurs troupeaux. Aussi, les cédraies jouent un rôle dans la protection des sols contre l'érosion, dans la lutte contre l'envasement des barrages, la désertification aussi que le maintien des nappes phréatiques.

La cédraie dans ces régions se caractérise par un couvert végétal dégradé, sous la forme de maquis ou de garrigues, lié à une surexploitation du bois et aussi à un surpâturage. Le substrat géologique, les pluies, le couvert végétal constituent des facteurs qui ont conduit à une dégradation des sols. (BENSID, 1996)

Dans le mont du Chélia, les stations se caractérisent par une certaine spécificité écologique (topographie, état des sols, état de la régénération, dépérissement,...) et il semble que la matière organique et sa nature (améliorante, acidifiante) influencent la fertilité des sols et par conséquent la productivité des peuplements forestiers.

Cependant, le cèdre est confronté à différents stress, en plus du stress hydrique, les sols sont quelques fois pauvres en éléments nutritifs, que ce soit les éléments majeurs ou les oligo-éléments (BELLOULA, 2003).

En outre, l'azote comme le phosphore et le potassium constitue un élément majeur d'où sa grande influence sur le développement des plantes.

Or, le rôle important joué par la matière organique vis-à-vis de l'azote du sol que ce soit dans les agrosystèmes ou les écosystèmes forestiers (RAPP, 1967, 1969 ; AUSSENAC et al., 1972 ; GLOAGUEN et TOUFFET, 1976; LEMEE, 1982) a été depuis ces travaux considérés comme un aspect très important dans les processus d'immobilisation-minéralisation de l'azote dans les sols.

A la différence des agrosystèmes où les déficits en bioéléments notamment en azote sont rétablis par un apport d'engrais, les écosystèmes forestiers assurent généralement par eux-mêmes leurs besoins en éléments nutritifs et particulièrement en azote. Aussi un

déséquilibre de l'écosystème entraînerait une rupture des cycles biogéochimiques de ces éléments qui deviennent de plus en plus rares et particulièrement l'azote, ce qui pourrait constituer un facteur limitant de la production forestière (LEMEE, 1982).

A cet égard, le sol représente une ressource non renouvelable, susceptible de se dégrader assez rapidement, en particulier sous l'influence de pratiques sylvicoles mal adaptées et d'une exploitation irrationnelle de l'écosystème forestier.

Au plan biogéochimique, de nombreux travaux ont été réalisés ; BERTHELIN (1976), MESSAADIA (1984), BENRABAH (1990). D'autre part, les études de BENSID (1996), BOUNOUARA (1996), MERIDJA (2008) ont utilisé en particulier la technique de l'hydrolyse acide pour déterminer le pool de l'azote dans le sol, sa minéralisation et sa réorganisation, sous l'effet des matières organiques apportées au sol par litières (BENSID, 1996) ou par apport d'engrais vert (BOUNOUARA, 1996 ; MERIDJA, 2008).

Dans la perspective d'apporter quelques éléments de réponses aux difficultés écologiques que connaît l'un des principaux écosystèmes forestiers des hautes altitudes Aurasiennes, il nous a semblé propice d'envisager une étude sur la fertilité chimique de ces sols en relation avec les types de stations forestières.

Or, la disponibilité de l'azote assimilable pour les plantes dans les écosystèmes forestiers dépend du substrat géologique, du climat, et de la nature des matières organiques et des types végétaux, cela demeure un aspect qu'il faut élucider au plan quantitatif et qualitatif, pour préciser l'effet des différentes stations forestières sur le pool de l'azote dans le sol.

L'enjeu est donc de caractériser les différentes fractions de l'azote du sol et leur distribution dans les trois stations forestières, afin de disposer de données permettant d'évaluer le pool d'azote dans les cédraies du massif du Chélia, leurs potentialités chimiques et par conséquent, leur croissance et leur production en bois.

Il s'agit dans ce travail d'identifier des indicateurs d'optimisation de la gestion des écosystèmes forestiers. Ceci suppose une étude inscrite

dans une démarche de quantification des fractions de l'azote ; cela permet d'aboutir à des recommandations aux gestionnaires qui visent le respect du maintien et de l'amélioration de la capacité de production des sols, des fonctions écologiques, environnementales et sociales des forêts.

Ainsi dans le but d'optimiser la sylviculture par une meilleure connaissance des conditions de nutrition des peuplements forestiers, et afin de déterminer l'influence de la typologie des cédraies (cédraie pure, cédraie- chénaie, et cédraie thuriferaie) sur la distribution des différentes fractions d'azote (Azote minérale : azote nitrique et azote ammoniacal, et azote organique : azote hydrolysable distillable, azote hydrolysable non distillable et azote non hydrolysable) dans certains sols du massif forestier du Chélia, en partant des questions suivantes :

- Y'a-t-il effet particulier d'une station forestière sur le pool de l'azote dans les sols forestiers ?

C'est pour répondre à cette question nous avons envisagé ce travail en adoptant la technique de l'hydrolyse acide et cela afin de déterminer les fractions organiques de l'azote. Pour les fractions minérales nous avons utilisé la méthode KJELDAHL.

La présente étude est menée dans une vieille futaie à cèdre de l'Atlas du massif du Chélia, avec trois types de couverture forestière :

- Pelouse forestière (comme témoin).
- Cédraie pure.
- Cédraie à chêne vert.
- Et Cédraie à genévrier thurifère.

Ainsi le présent document est divisé en trois grandes parties :

- Une première partie consacrée à la synthèse bibliographique ;
- Une deuxième partie traite la description de la zone d'étude, le matériel et la méthodologie utilisée.
- Une troisième partie où nous exposons les résultats obtenus en les discutant.

PREMIERE PARTIE
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I: CARACTERISATION PHYSIOGRAPHIQUE DE LA CEDRAIE

INTRODUCTION

Le cèdre de l'Atlas est une essence circumméditerranéenne ou l'on distingue plusieurs espèces, qui appartiennent à la famille des Pinacées et à l'ordre des Coniférales:

- *Cedrus deodara* London (Cèdre de l'Himalaya): En Asie.
- *Cedrus libani* Barrel (Cèdre du Liban): Au Liban, Turquie et Syrie.
- *Cedrus brevifolia* Henry (Cèdre de Chypre): à Chypre.
- *Cedrus atlantica* Manetti (Cèdre de l'Atlas): au Maroc et en Algérie.

Les aires naturelles de ces quatre espèces sont bien différenciées, tandis que leurs exigences sont parfois très voisines. (DUCREY, 1993).

Le Cèdre de l'Atlas est difficilement reconnaissable du Cèdre du Liban, mais il se distingue nettement du Cèdre de l'Himalaya et celui de Chypre.

Dans son aire naturelle, le Cèdre de l'Atlas se régénère très mal contrairement à son aire d'introduction où il se régénère facilement. (TOTH, 1980 a; ABOUROUH, 1983).

Les travaux de recherche sur le Cèdre de l'Atlas ont été menés surtout dans son aire d'introduction sur ses exigences écologiques, sa croissance, sa production ligneuse, ainsi que sa régénération.

I-1-CARACTERISTIQUES BOTANIQUES DU CEDRE DE L'ATLAS

Le cèdre de l'Atlas est une espèce de grande taille, pouvant atteindre 50m de haut, majestueux et Longeville (1000 ans) (BOUDY, 1950).

Au jeune âge il a un port pyramidal et prend la forme une tabulaire en vieillissant. (TOTH, 1970). Il a le fut rectiligne et les branches fines en peuplement. Les feuilles sont des aiguilles en rosettes, leur longueur est comprise entre 1et 2cm de couleur verte ou glauque persistantes pendant trois années. (BOUDY, 1952).

Le système racinaire est très développé, pivotant; fixant l'Arbre au sol (TOTH, 1970). Les racines des plants d'une année son comprises entre 14 et 20cm (TOTH, 1978). Quand le sol est peu profond ou qu'il contient des obstacles, l'enracinement devient latéral, causant les chablis.

Le Cèdre est une essence monoïque, ses fleurs sont groupées en chatons mâles de forme ovoïde qui apparaissent à mi-juin. Les inflorescences femelles, de forme ovoïde également et de couleur vert-bleuâtre. Ces dernières sont plus petites que les chatons mâles et apparaissent trois mois après les chatons mâles. (TOTH, 1978). En conditions naturelles, la graine de Cèdre ne peut germer que si les températures journalières avoisinent 10 °C pendant 9à 10 jours (LEPOUTRE, 1964).

I-2-CARACTERISTIQUES ECOPHYSIOLOGIQUES DU CEDRE DE L'ATLAS

I-2-1-Le climat

Le cèdre de l'Atlas pourrait être considéré comme une essence de climat de transition; on peut la 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), rapporte 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).

En Algérie, les cédraies sèches des Aurès et des Hodna ne reçoivent qu'une tranche pluviométrique comprise entreentre500 et 700mm/an. Celle du Djurdjura, des Babors, l'Ouarsenis et Chréa plus humides, recevant 1100 à 2100mm/an (DERRIDJ, 1990). ABOUROUH (1983) rapporte que l'étage humide (800à 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 à 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 perhumide à variante froide à très froide (BYOUG-GUIENG, 1976; M'HIRIT, 1982; DERRIDJ, 1990).

I-2-2-Le substrat

Le substratum géologique constitue également un facteur de répartition des cédraies, on constate que:

- Le Cèdre est également rare sur calcaire.
- Sur des formations argileuses recouvertes d'éboulis.
- Sur grès et sur dolomies dans 4/5 des cédraies des Aurès et du Belezma, ce qui peut s'expliquer par le fait que les deux substratums donnent naissance à des sols légers dans lesquels les racines des jeunes cèdres peuvent pénétrer plus facilement. (HALITIM, 2006).

LEPOUTRE (1964), a mis en lumière le fait que l'influence des facteurs édaphiques varie 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). 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).

BOUDY (1950) note que le cèdre de l'Atlas se rencontre aussi bien sur les calcaires que sur les schistes calcaires ou gréseux et sur grès, et

que les neuf dixième des cédraies algériennes se trouvent sur des formations siliceuses.

Pour RIPPERT et BOISSEAU (1993), les marnes et les dolomies sont particulièrement défavorables au cèdre, les autres sols présentent des fertilités diverses en fonction des conditions stationnements.

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.

I-2-3-Exposition

Elle joue un rôle important dans la répartition des pluies et des températures.

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.

BENTOUATI (1993) constate qu'au Belezma, l'exposition sud marque bien la limite de la cédraie.

I-2-4-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 est à 1400m, tandis que la limite supérieure peut aller jusqu'à 2300m au Chéla et 2800m au Maroc (BOUDY, 1950).

D'après 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 2200 à 200m.
- L'étage subhumide inférieur à hiver froid, de 2000 à 1600m.

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.

I-3-AIRE DE REPARTITION

I-3-1-Aire naturelle

Le cèdre de l'Atlas occupe les hautes montagnes d'Algérie et du Maroc. Dans cette aire naturelle on distingue deux grands ensembles:

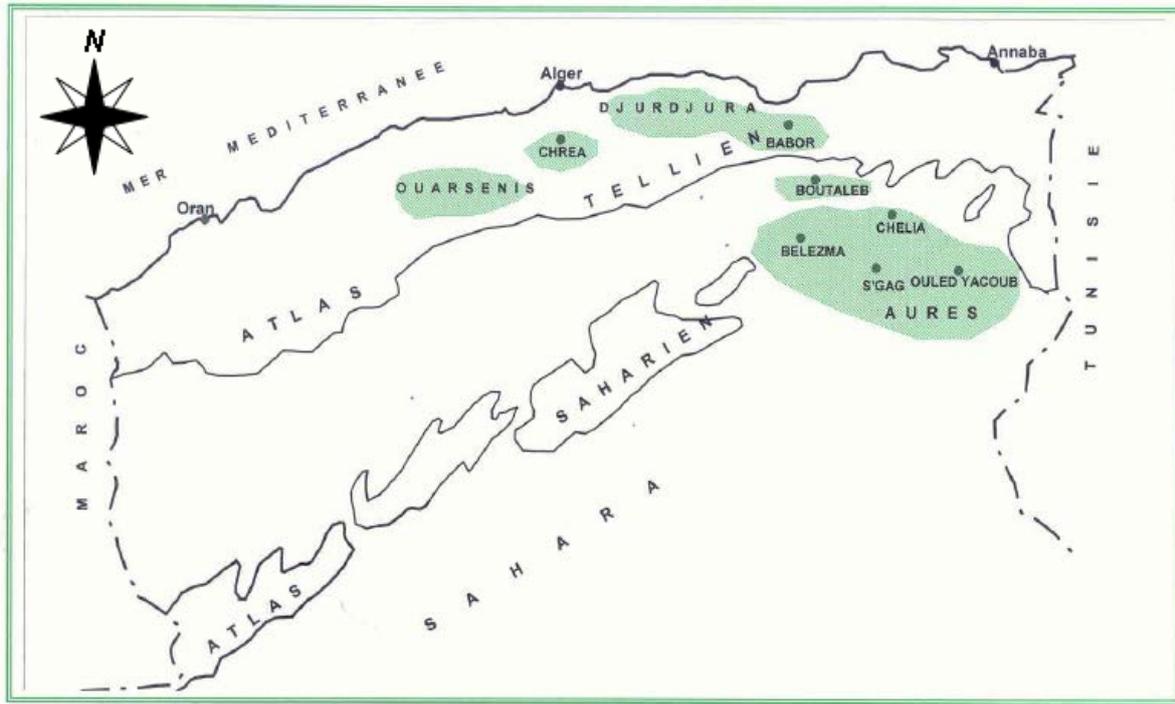
- L'ensemble méridional adapté à la sécheresse.
- L'ensemble septentrional adapté à l'humidité.

Au Maroc, le Cèdre occupe une superficie de l'ordre de 120.000 à 130.000 ha répartie en deux blocs: le premier dans le Grand Atlas avec 116.000 ha ; le second dans le Rif avec environ 15.000 ha.

En Algérie, le Cèdre couvre environ 30.000 ha (HARFOUCH et NEDJAH, 2003) répartis en trois blocs:

- Les Babors (1300 ha) et le Djurdjura (2000 ha).
- Ouarsenis (1000 ha), Chréa et Theniet- el- had (1500 ha).
- Monts des Aurès et du Belezma (17000 ha), Hodna (8000 ha).

Ce morcellement traduit semble-t-il des changements dans les conditions écologiques et probablement un recul de la cédraie. Le réchauffement de la planète, s'il s'avérera être sûr accélérera ce phénomène notamment dans les régions les plus méridionales, comme le Belezma, le Hodna et les Aurès. (HALITIM,2006).



Localisation des provenances du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) en Algérie

ATLAS TELLIEN	ATLAS SAHARIEN
Babors	Belezma (Aures)
Tikjda (Djurdjura)	S'Gag (Aures)
Tala Guilef (Djurdjura)	Chelia (Aures)
Chrea	Ouled Yacoub (Aures)
Theniet El Had (Ouarsenis)	Boutaleb (Hodna)

Fig.01: Répartition des cédraies en Algérie. Source : A.NEDJAH I et O. ZANNDUCHE INRF. Echelle : 1/1000 000.

I-3-2-Aire d'introduction

Le cèdre de l'Atlas a été introduit depuis longtemps dans quelques pays du pourtour méditerranéen, tout d'abord dans les parcs et jardins, puis dans les reboisements forestiers. Il couvre en France 10.000 ha.

TOTH (1980 a), M'HIRIT (1982,1993) et AUSSÉNAC (1984) signalent également son introduction aux U.S.A, en Crimée (Caucase), en Bulgarie, au Portugal, en Yougoslavie, en Belgique et en Allemagne.

I-4-ASSOCIATION DU CEDRE DE L'ATLAS

Les espèces végétales associées au Cèdre sont différentes selon les conditions écologiques, c'est-à-dire la pluviométrie, l'altitude et les conditions édaphiques. Ainsi, AZZAHIRI et al., 1994, ont révélé en zone semi-aride de l'Atlas moyen marocain et sur substrat basaltique à 1900-2000m d'altitude et en exposition Ouest le groupement végétale suivant:

- *Cedrus atlantica*
- *Buplerum montanum*
- *Acer monsepsulanum*
- *Rosa canina*

En sol calcaire compacte et à une altitude de 1800-1900m, le groupement végétal devient:

- *Cedrus atlantica*
- *Quercus rotundifolia*
- *Paeonia coralina*

En Algérie, dans les Aurès le faciès est caractérisé par les espèces suivantes:

- *Cedrus atlantica*
- *Quercus ilex*
- *Pinus halepensis*
- *Juniperus oxycedrus*
- *Juniperus thurifera*
- *Ampelodesma moritanica*
- *Fraxinus xanthoxyoides*

Dans les monts de Chr ea et dans les Babors le faciès plus humide est caractérisé par les espèces suivantes:

- *Cedrus atlantica*
- *Quercus ilex*
- *Quercus mirbeckii*
- *Taxus baccata*.

Chapitre II : PEUPELEMENTS FORESTIERS ET MATIERES ORGANIQUES DES SOLS

INTRODUCTION

Selon DUCHAUFOR (1977,1983), la matière organique du sol, désigne l'ensemble des débris végétaux de toute nature, feuilles, rameaux, brindilles, inflorescences, fruits et racines, qui, dans une végétation permanente, tombent sur le sol en constituant la source essentielle de tous les composés organiques qu'ils soit simples ou complexes ; isolés ou associés entre eux mais aussi, elle peut être sous la forme d'exsudats foliaires et radiculaires, DOMMARGUES et MANGENOT (1970).

La matière organique fraîche, lors de sa décomposition donne naissance à des éléments biogènes et des composés amorphes, lesquelles contractent des liaisons avec les éléments minéraux et forment des complexes organo- minéraux dont l'humus est le constituant essentiel (BERTHELIN et TOUTAIN, 1979).

Ainsi pour ANANDANA BOONA (1998), cette matière organique joue un rôle essentiel dans la réserve nutritive, la capacité hydrique, le pouvoir tampon et l'amélioration physique du sol. Dans ce souci, plusieurs études ont été mises en évidence ce rôle de la matière organique dans les sols. Indiquait que les matières organiques réagissent plus vite que les minéraux aux changements des conditions du milieu.

II- LES MATIERES ORGANIQUES DANS LES SOLS FORESTIERS

II-1- SOURCE DE LA MATIERE ORGANIQUE DU SOL

Les débris végétaux sont la source essentielle de la matière organique présente dans le sol à l'état inerte. Suite à l'activité

microbienne, les débris végétaux sont décomposés plus ou moins rapidement.

LOISION et NIOGRET (in BENSID, 1996), établissent une liste des principales sources de la matière organique dans les sols forestiers :

- Débris végétaux.
- Bio faune du sol.
- Microflore du sol.
- Exsudats racinaires.
- Pluvioléssivats.

MANGENOT et TOUTAIN (1980) ont dénoté qu'en dehors des apports racinaires des végétaux forestiers, l'essentiel de la matière organique qui arrive au sol provient des parties aériennes des arbres, des arbustes, et de la strate herbacée. Ces apports sont de deux types :

- Les pluvioléssivats qui correspondent à des apports de matières solubles ou de résidus variés de très petite taille (lessivage de la phyllosphère par les eaux de pluies).
- Retombées biologiques solides: débris végétaux de différentes natures.

II-2- NATURE DE LA MATIERE ORGANIQUE

Selon BALESSENT (1996), la résonance magnétique nucléaire (RMN) du carbone 13, renseigne sur l'environnement des atomes de carbone et permet la spéciation en grands groupes fonctionnels ; carbone aliphatique (chaînes hydrocarbonées), aromatique, groupements carboxyliques, cétones et alcools, carbone glucidique, ...etc.

Ainsi, la détermination de l'origine biologique des tronçons des molécules, devient possible à travers l'utilisation de la microscopie électronique, de la pyrolyse et l'analyse couplée des pyrolysates en

spectromètre de masse. En plus, l'utilisation de la microscopie électronique renseigne mieux sur le complexe argilo- humique. Les associations organo- minérales doivent maintenant être plus perçues comme des micro- agrégats organiques entourés d'argile ou des amas organiques insérés entre les particules argileuses comme des couches adsorbées sur les surfaces.

II-3- ROLE DE LA MATIERE ORGANIQUE DANS LES SOLS

La présence de la matière organique dans les sols a des conséquences multiples sur la pédogenèse et le fonctionnement des écosystèmes « sols ».

Ainsi, la matière organique constitue pour le sol un apport énergétique et un apport d'éléments biogènes nécessaires à l'activité d'un grand nombre d'organismes (flore, microflore, et faune du sol) ; ces éléments tels que le C, N, H et O entrent dans la constitution de la matière organique des sols ainsi que de nombreux cations tels que le K, Na, Ca, Mg et Mn initialement présent dans les matériaux végétaux d'origine ou fixés sur les sites réactionnels d'échange de cette matière organique.

Pour ANANDANA (1998), la matière organique joue un rôle essentiel dans la réserve nutritive, la capacité de rétention en eau, le pouvoir tampon et l'amélioration des propriétés physiques du sol (structure, porosité et rétention en eau,...).

De son côté, DUCHAUFOR (1984) avait attribué à la matière organique un triple rôle dans l'évolution du profil :

- Humification conditionnant l'activité biologique et en grande partie le PH et le cycle des nutriments.
- L'altération du substrat minéral et libération des éléments chimiques.

- Les mouvements de la matière organique au sein du profil (perte par drainage).

Pour APINCOURT (in OUNAS ,1990), la matière organique joue un rôle important dans la solubilisation et le transport dans les sols des oligo-éléments métalliques tels que le Zn, Cu, Fe, Mn.

En outre, la matière organique contribue à faciliter l'obtention d'un état structural stable. Par conséquent, il y aurait une meilleure porosité, une bonne perméabilité, une meilleure aération et un meilleur réchauffement du sol. Comme elle joue un rôle important dans la rétention de l'eau (DUTHIL, 1973) et elle est considérée comme une réserve énergétique riche en carbone et en hydrogène (MOREL, 1996) ; elle est alors une source de nutrition pour la faune et la flore (MUSTAIN, 1987).

Denis BAISE et DJABIOL (1995), ont donné à la matière organique les rôles suivants :

- Formation d'agrégats grâce en particulier, à ses propriétés électroniques permettant la création de complexes argilo- humiques.
- Réserve en éléments minéraux et particulièrement en Azote. Les éléments sont restitués au sol, sous forme disponible pour les plantes, à une vitesse très variable : c'est la minéralisation.

En milieu acide, la matière organique hydrosoluble issue des litières peut, s'il y a une faible quantité d'argile dans le sol, traverser les horizons organo- minéraux, altérer le peu d'argile qui s'y trouve, en entraînant des éléments comme le Fer, Si et l'Al, et en provoquant une redistribution de ces éléments en profondeur (phénomène de podzolisation).

Cependant, lorsque la quantité d'argile est importante, cette matière hydrosoluble, acide et agressive, peut s'insolubiliser dans le sol dès les premiers centimètres, et former un complexe argilo- humique (brunification), et mettre à la disposition des racines les cations entraînés.

En milieu calcaire, la matière organique hydrosoluble s'insolubilise immédiatement au contact des carbonates de calcium sous forme de fulvate et d'humates de calcium qui sont peu à peu minéralisés par la microflore bactérienne en donnant du dioxyde de carbone (CO₂). Le CO₂ au contact des carbonates de calcium donne du (CO₃H)₂ Ca, le bicarbonate de calcium, qui est soluble, s'entraîne en profondeur et se précipite suite aux variations des conditions pédoclimatiques, sous la forme de CO₃Ca. La présence de la matière organique dans les sols calcaires induit des phénomènes de décarbonatation des horizons de surface dans les sols forestiers.

La matière organique joue un rôle important dans l'élaboration de la structure, de la porosité, et donc dans la circulation de l'air et de l'eau des horizons de surface des sols, elle assure un rôle de ciment entre les constituants minéraux (argile, limon, sable). Les exsudats rhizosphériques des plants et des mucus intestinaux des vers de terres, de nature polysaccharidique, participent à l'élaboration de la structure et favorisent l'agrégation des horizons de surface (biostructure) (DUCHAUFOR, 1977).

II-4- DYNAMIQUE DE LA MATIERE ORGANIQUE

La richesse du sol en produits organiques est liée à l'abondance de la végétation et au processus de décomposition des débris végétaux ou animaux (HUETZ DE LEMPS, 1970).

Dans les conditions favorables, la matière organique évolue rapidement. Le sol hérite une fraction organique faiblement humifiée mais, directement incorporée au milieu minéral (DUCHAUFOR, 1988). Les composés solubles sont soumis à une biodégradation active dans l'horizon A, et une plus faible part s'intègre à la fraction humique puis à l'humine par polymérisation et condensation rapide. Le bilan de ce mode d'humification indirecte s'exprime par une insolubilisation des précurseurs

phénoliques et aboutit à la formation sur place d'un complexe argilo-humique stable construit autour de la fraction argileuse fine

Dans les conditions écologiques défavorables (végétation dite acidifiante), la matière première se minéralise et s'humifie très lentement. Sous la litière des débris frais, il se forme un horizon particulier (Horizon A₀), composé de débris végétaux incomplètement transformés à trame cellulaire encore visible, au moins à la partie supérieure ; cette couche organique est incomplètement incorporée aux horizons minéraux. Quand elle est très épaisse (10à20cm), elle se superpose au sol minéral sans qu'aucun mélange ne se produise ; c'est l'humus brut ou « Mor ».

II-4-1- Processus de décomposition des tissus végétaux

La matière organique fraîche (litière) des écosystèmes forestiers subit au contact du sol des transformations complexes pour libérer des éléments minéraux simples ou complexes; les deux sont disponibles pour la survie des producteurs qu'ils soient animaux, microorganismes ou végétaux (MANGENOT et al, 1980).

Les éléments minéraux solubles ou gazeux (nitrites, nitrates, phosphates, CO₂, ...) ont trois destinées possibles; dont la principale est la fixation sur le complexe argilo- humique. Etant formé par liaison intime entre deux éléments amorphes (Ca⁺⁺ ET Fe⁺⁺), ce dernier ne subit qu'une minéralisation lente en conditions climatiques défavorables (DUCHAUFOR, 1977; DUCHAUFOR, 1988. BONNEAU et SOUCHIER, 1979). Cette biodégradation qui est une lyse bactérienne, varie considérablement avec l'état du végétal (jeune ou âgé, herbacé ou arborescent), avec l'importance et la composition chimique du végétal (teneur en hydrates de carbone et cellulose, lignine et protéines, graisses et cire, en tanin et cendre); le tissu végétal se trouve alors rapidement ou lentement attaqué par la microflore tellurique. Finalement cette

biodégradation a pour terme ultime la production de gaz carbonique et d'eau; c'est une oxydation.

II-4-2- Importance des cycles biogéochimiques dans le recyclage de la matière organique

L'apport régulier d'éléments minéraux au sein de du sol se fait par le retour annuel d'une importante quantité de litière, ce qui permet de compenser les pertes par prélèvement des racines et par entraînement par les eaux.

Le cycle biogéochimique est un des aspects majeurs des relations entre le sol, la végétation et l'environnement et constitue par conséquent un phénomène écologique essentiel dans l'équilibre des biocénoses naturelles en particulier les peuplements forestiers.

Par l'intermédiaire des litières, le sol bénéficie de quelques centaines de kilogrammes d'éléments minéraux; l'Azote constitue environ 30% de cet apport. (RAPP, 1969).

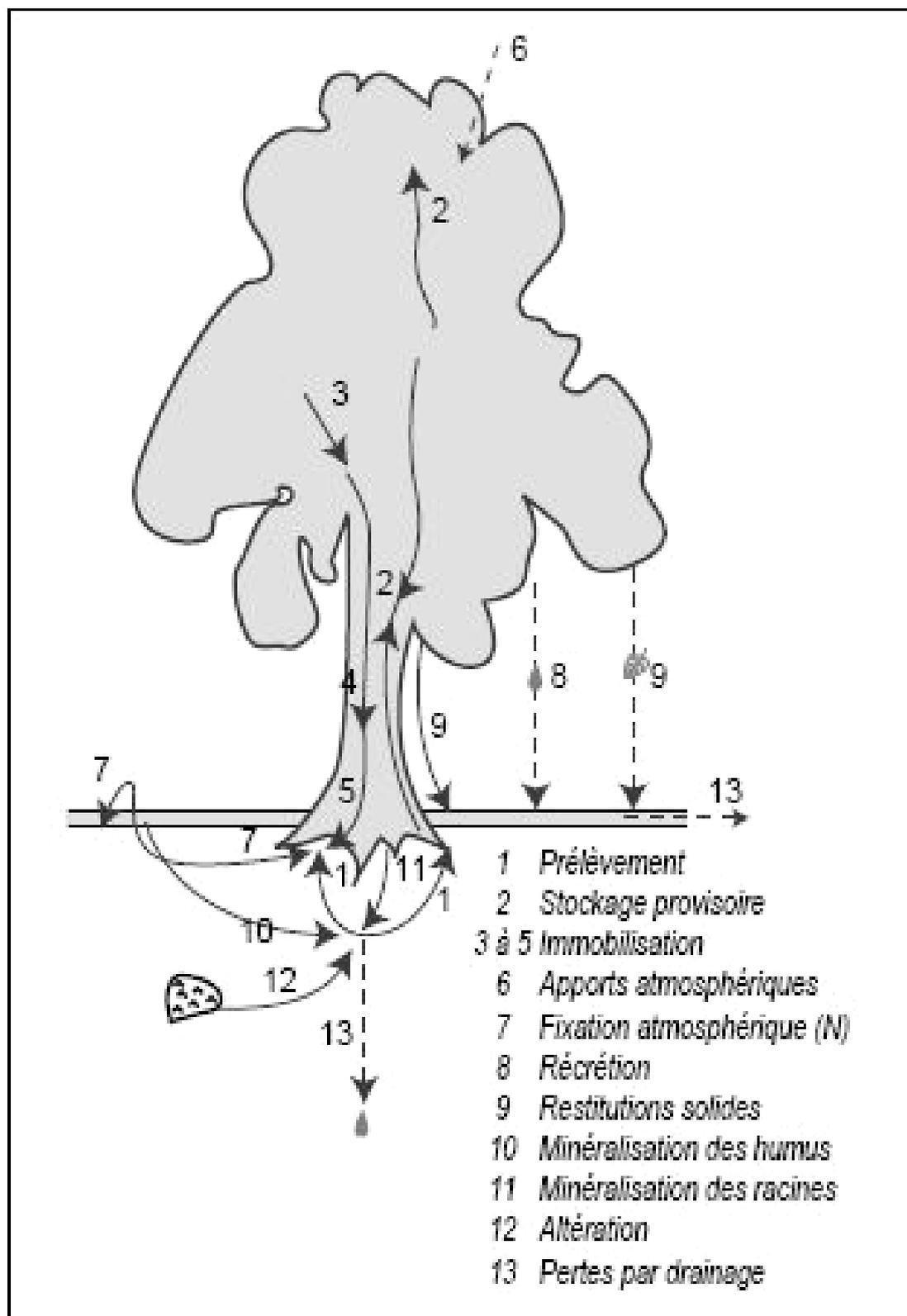


Fig.02: Présentation du cycle biogéochimique en forêt.

II-4-3- Minéralisation de la matière organique

En fait la décomposition de la matière organique par les microorganismes a été divisée en deux types de minéralisation:

La première étant *la minéralisation primaire*, qui porte sur la matière organique fraîche, non encore incorporée au sol minéral. C'est un catabolisme édaphique effectué par un réseau complexe d'organismes telluriques aboutissant à la transformation des aliments énergétiques en CO_2 et H_2O .

Les hydrates de carbone sont facilement métabolisables et constituent une source d'énergie accessible aux microorganismes. (BERTHELIN et TOUTAIN, 1979).

La cellulose est difficilement biodégradable, de nombreux microorganismes sont incapables d'attaquer la cellulose naturelle. La cellulolyse jusqu'au stade glucose exige l'intervention d'un système complexe pluri- enzymatique (DOMMERGUEZ, 1971).

La lignine est aussi un composé carboné difficilement biodégradable, car les microorganismes aptes à le solubiliser sont limités en genres et en nombre. Les champignons capables de dégrader la lignine sont des champignons acidiphiles du groupe des basidiomycètes. La lignine est nécessaire à la synthèse des composés humiques dans le sol.

Les processus microbiens assurant le passage de l'Azote de la forme organique à la forme minérale sont respectivement l'ammonification et la nitrification (Chapitre III: l'Azote dans le sol).

Un second type de minéralisation appelé *minéralisation secondaire*, et qui concerne les composés humiques. Celle-ci, a la particularité d'être relativement lente à cause des liaisons vigoureuses entre les composés humiques et minéraux ; ce qui rend d'ailleurs les humus difficilement biodégradables. Cette minéralisation est influencée par de nombreux facteurs; ainsi tous les éléments qui favorisent l'activité microbienne du

sol entraînent une accélération de la minéralisation (BONNEAU et SOUCHIER, 1979).

II-5- FACTEURS AFFECTANT LA MINERALISATION DE LA MATIERE ORGANIQUE

MARTIN et HAIDER (in BONNEAU et SOUCHIER, 1979) ont montré que la biodégradation des composés organiques et la biosynthèse des composés humiques dépendent de la nature des apports organiques (composés simples ou polymérisés) et des facteurs de l'environnement édaphique: la texture, l'humidité, la température et le pH.

La composition biologique des sols forestiers est déterminée en premier lieu par des facteurs édaphiques tels que la texture, le pH, la teneur en C, en N, et en eau. Bien que la disparition des litières forestières ne soit pas le fait exclusif des facteurs de l'environnement, les organismes qui vivent dans l'humus en sont aussi responsables.

II-5-1- Action de la végétation

Les travaux de POUGET (1980) sur les steppes sud algéroises ont mis l'accent sur la diminution du taux de matière organique des horizons de surface dans un climat semi-aride, avec la dégradation du couvert végétal et une aridité croissante du climat du nord vers le sud.

Par ailleurs, il signale l'existence d'une corrélation linéaire entre la teneur en matière organique et l'indice d'aridité de MARTONNE. La végétation est alors susceptible d'exercer une influence sur les processus d'évolution de la matière organique, et de l'altération biochimique des minéraux au point d'orienter la pédogenèse.

II-5-2- Action de la texture

La teneur en matière organique est en étroite relation avec la texture du sol (BAUZON et al., 1969). En effet, de nombreux auteurs avaient montré l'effet protecteur des argiles vis-à-vis de la matière organique et ont affirmé que l'oxydation des acides humiques est ralenti en présence d'illite et de montmorillonite. Ainsi, les sols à texture fine sont

plus riches en matière organique que les sols à texture grossière (POUGET, 1980).

II-5-3- Action du pH

En maintenant le pH neutre, les organismes vivants du sol, notamment les bactéries responsables de la décomposition de la matière fraîche et de la matière organique transformée restent en perpétuelle activité.

II-5-4- Action de la température

La biodégradation de la matière organique fraîche ou humifiée est très sensible à la température. En effet, une augmentation de la température de 1°C induit une augmentation souvent importante de la vitesse de décomposition des litières forestières (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

Il est vrai que la dégradation des matières organiques des sols dépend aussi du pédoclimat, au point où, la vitesse de décomposition des litières est en grande partie proportionnelle à la température moyenne, à condition que l'humidité édaphique soit favorable (DUCHAUFOR, 1980).

Il a été admis que l'activité microbienne est pratiquement nulle à une température de 0°C. Toutefois, TAM et KRIZSCH (in DOMMERGUES et MANGENOT, 1970) avaient affirmé le contraire; en estimant que l'activité respiratoire, reflet du métabolisme microbien, ne s'annule pas au voisinage de 0°C et que le gel a un effet létal sur les microorganismes moins marqué que la dessiccation.

II-5-5- Action des éléments minéraux

En travaillant sur des sols acides des étages montagnards subalpins, BELHADJ (1984), avait confirmé que la présence de fortes quantités d'allophanes provoquent l'apparition d'un certain temps de latence dans le métabolisme des composés facilement minéralisables et peu absorbables. On peut parler, alors d'effet stabilisateur vis-à-vis de la

matière organique humifiée, compte tenu de l'effet protecteur qu'ils exercent vis-à-vis de la matière organique fraîche.

A la lumière des travaux de DUCHAUFOR (1976), il ressort que le carbonate de calcium est un véritable agent de séquestration des matières organiques en limitant leur minéralisation.

II-6- PEUPELEMENTS FORESTIERS ET MATIERES ORGANIQUES DANS LES SOLS

Si le rôle de "fournisseurs" de nutriments joué par les peuplements forestiers suscite un intérêt certain, l'attention est de plus en plus attirée par leur pouvoir de réduction des pertes. Les aspects les plus importants sont le recyclage des nutriments et l'amélioration de la structure du sol, essentiellement par une augmentation de la teneur en matière organique du sol due à des chutes de litière (BEER 1988 ; COLEMAN *et al.* 1989 ; YOUNG 1989). Les apports de matière organique au sol ont deux fonctions principales :

- le maintien de la teneur de la matière organique du sol, en vue de préserver les propriétés physiques et chimiques du sol ;
- l'apport d'éléments nutritifs.

Ces deux aspects sont essentiels pour la production végétale. Le maintien de bonnes caractéristiques physiques et chimiques du sol est un facteur crucial, parce qu'il assure une utilisation efficace des nutriments disponibles et une récupération efficace des apports d'éléments nutritifs.

II-6-1- L'impact des peuplements forestiers sur les propriétés physiques et chimiques du sol

La stabilité des agrégats formés des particules d'argiles et de limon est influencée par les polysaccharides produits par la faune du sol, les hyphes des champignons, par les racines des plantes, ainsi que par les quantités élevées et la disponibilité régulière de matière organique. La stabilité des agrégats améliore la production végétale principalement en assurant une meilleure aération du sol et une résistance accrue à l'érosion (JANSSEN 1986 ; YOUNG 1989). Affectant l'espace poral, le degré

d'agrégation influence également la capacité d'infiltration et les caractéristiques de la rétention d'eau du sol.

Selon PIERI (1989), la teneur minimale de matière organique requise pour maintenir la structure du sol dépend de la teneur en argile et limon de ce dernier.

La propriété chimique du sol la plus influencée par la matière organique du sol est la capacité d'échange cationique (CEC). La CEC dépend, en premier lieu, de la teneur en argile et de la composition minéralogique du sol.

Cependant, dans de les sols où la fraction argileuse est dominée par la kaolinite, les oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, la variation de CEC est principalement déterminée par la matière organique du sol (PICHOT 1975 ; YOUNG 1989 ; BUDELMAN et ZANDER 1990).

Au Niger, la matière organique du sol explique 54 % de la variation de la CEC et démontre une corrélation significative avec l'Azote total (ICRISAT 1991).

II-6-2- Influence des peuplements forestiers sur la disponibilité en éléments nutritifs

La fertilité du sol représente les concentrations d'éléments nutritifs disponibles pour les plantes, sans intrants artificiels. En effet, les nutriments peuvent être présents sous une forme et dans des conditions d'absorption inappropriées pour les racines. Les éléments nutritifs limitant le plus couramment la production végétale dans les régions semi-arides sont l'azote et le phosphore. En particulier dans les régions semi-arides qui connaissent des saisons distinctes, les concentrations de nutriments disponibles varient pendant l'année (LAMBERT *et al.* 1980 ; PENNING de VRIES et DJITEYE 1991).

D'une façon générale, on admet que la présence de peuplements forestiers améliore la fertilité du sol (NAIR 1984 ; YOUNG 1989). Cette affirmation s'appuie sur deux types d'arguments. En premier lieu, on relève une fertilité plus élevée du sol des forêts par rapport aux champs. Il

est difficile cependant de tirer des conclusions de la comparaison d'écosystèmes tellement différents. Par exemple, une fertilité élevée dans une végétation densément arborée par rapport à une végétation arborée clairsemée, Certains herbages naturels de graminées pérennes ont un sol plus fertile que celui des forêts (JANSSEN 1986).

En second lieu, on fait référence à la restauration de la fertilité du sol le reboisement. Une amélioration de la fertilité du sol est liée à la formation progressive d'une biomasse et au cycle d'éléments nutritifs accrus. Les arbres à croissance rapide forment très vite une biomasse, ce qui a un impact sur la disponibilité en nutriments dans les autres compartiments du pool plante- litière- sol.

Chapitre III

L'AZOTE DANS LE SOL

INTRODUCTION

L'Azote, élément plastique, existe dans le sol, dans l'air, dans les tissus végétaux et animaux. A l'instar du Potassium et le Phosphore, il constitue un élément majeur d'où sa grande influence sur le développement et la productivité des végétaux.

La plupart des plantes sont incapables d'absorber l'Azote atmosphérique; seules certaines algues et certaines bactéries sont capables de le fixer directement. Grâce à leurs nodosités et bactéries qu'elles abritent, les légumineuses sont aussi fixatrices d'azote atmosphérique.

L'Azote joue un rôle essentiel dans la synthèse de la matière vivante à partir de la matière minérale, et exerce une grande influence sur la végétation dans une très large mesure. A cet égard il est considéré comme un facteur limitant pouvant être selon les cas, la cause du bon ou du mauvais développement végétal. (JEAN-PREVOST, 1970).

L'importance de l'Azote pour les végétaux ne s'explique pas seulement par un bon pourcentage de l'Azote sous forme assimilable, mais aussi par le rôle exceptionnel dévolu aux différentes substances azotées et protéiques. (DUTHIL, 1973).

III-1- ROLE ET IMPORTANCE DE L'AZOTE

L'azote est nécessaire à l'existence des protéines et de la chlorophylle. Il est donc indispensable pour que les cycles du carbone et de l'oxygène se réalisent. L'azote est issu des produits de décomposition naturelle, il est fourni à l'atmosphère par les arbres qui le tirent du sol par leurs racines.

Dans le cytoplasme et les organites cellulaires, les protéines et les acides nucléiques développent une surface considérable et portent de nombreuses charges ce qui contribue à organiser les métabolismes. C'est

par leur partie protéique que les enzymes peuvent se lier aux substances et jouer ainsi un rôle catalytique.

Les matières azotées jouent le rôle de réserves nutritives, et peuvent être utilisées comme substrat respiratoire, en particulier au cours de la germination des graines.

L'Azote est l'un des principaux constituants de la chlorophylle qui commande le processus de la photosynthèse.

Cependant, un excès d'Azote induit un développement végétatif intense, et provoque un retard dans la maturation des graines et dans l'accumulation des réserves. (DIEHL, 1975); comme il peut être à l'origine d'une diminution de la solidité des tiges (JEAN PREVOST, 1970). Dans les cas graves, il serait la cause de la chlorose des bords des feuilles et dans de cas plus graves encore de la nécrose et du dessèchement (LEPOUTRE, 1963; LEMAIRE et al., 1989). Cela pourrait aussi aboutir à d'autres problèmes:

- Absence de fécondation des fleurs et sensibilité aux maladies cryptogamiques. (JEAN-PREVOST, 1970).
- Excès de pression osmotique et un flétrissement (LEMAIRE et al., 1989).
- Faible croissance des racines et nécrose racinaire.

Toutefois son insuffisance, va provoquer de la chlorose, un jaunissement, un faible développement, une précocité et une moindre productivité (DUTHIL, 1973). Les racines apparaissent très longues, peu ramifiées et blanches (LEMAIRE et al., 1989).

III-2- SOURCES DE L'AZOTE DANS LE SOL

Les apports au sol sont divers par leur origine et leur forme chimique. (LEMEE, 1982). En effet la principale source d'Azote est représentée par la matière organique du sol qui, en se minéralisant, libère de l'Azote assimilable par les végétaux.

L'Azote organique du sol est de diverses origines qui peuvent contribuer à l'alimentation azotée des végétaux; il renferme une forte

proportion de protéines, d'acides nucléiques, et d'amino sucres (MARY et REMY, 1979).

Une grande réserve de l'Azote se situe dans l'Azote moléculaire atmosphérique, seuls des microorganismes du sol dont certaines bactéries et quelques algues sont en mesure de le fixer et de le faire ainsi entrer dans les écosystèmes (CALLEJA, 1971).

Les entrées de l'Azote au sol sont assurées par:

- Les précipitations et le pluviollessivage.
- Les litières.
- Fixation symbiotique ou non symbiotique.
- Racines mortes des légumineuses.
- Grosses branches et troncs morts.
- Déjections des consommateurs primaires.

III-3- DIVERSES FORMES D'AZOTE DANS LE SOL

III-3-1- l'Azote organique

Dans la couche supérieure du sol, 92 à 97 % de l'azote se trouve sous forme organique (Stevenson, 1986), dont 3 à 20 % sont inclus dans la biomasse microbienne (Williams et Sparling, 1984). Seules de faibles quantités d'Azote sont donc directement disponibles (NO_3^- et NH_4^+ échangeables).

Environ 50 % de l'Azote organique du sol existe sous une forme non déterminée, notamment en association avec les substances humiques (Stevenson, 1986).

Par hydrolyse acide de sols organiques, Sowden (1978) ont séparé les différentes formes d'azote organique à des fins d'identification. La teneur en azote total était de 15 à 30 mg N g⁻¹ de matière sèche. Les principaux composés identifiables étaient les acides aminés et les sucres aminés.

L'azote se trouvait cependant majoritairement sous forme d'acides aminés (35 à 50 % de l'azote total). Les sucres aminés constituaient de 5 à 11 % de l'Azote total et les formes ammoniacées constituaient 8 à 15 %

de l'Azote total. Les formes insolubles constituaient 20 à 30 % de l'Azote total, et les formes hydrolysables non identifiées 5 à 15 % de l'Azote total. Les sols humiques contenaient plus de composés azotés non hydrolysables, en relation avec le processus d'humification plus poussé dans ces sols. L'azote insoluble dans l'acide pourrait former des ponts entre des quinones de l'humus (Stevenson, 1986).

De nombreux processus biochimiques règlent les équilibres entre les différentes formes de d'Azote dans le sol. En particulier, la minéralisation et l'assimilation assurent l'équilibre entre les formes minérales et les formes organiques de l'azote, en fonction des paramètres physiques, chimiques et biologiques du sol.

Isirimah et Keeney (1973) suggèrent que la majeure partie de l'azote minéralisable provient de la fraction organique soluble dans l'acide. De 1 à 3 % de l'azote organique serait ainsi minéralisé durant une saison de croissance, devenant donc disponible pour les plantes. Du fait du turnover rapide de l'Azote, seule une faible part (0,1 %) de l'Azote total serait disponible à un moment donné (Stevenson, 1986).

III-3-2- L'Azote minérale

Cette forme ne représente, en général, qu'un faible pourcentage faible de l'Azote total du sol (-5%). L'importance de cette forme réside dans le fait qu'elle soit la plus exportée par les plantes. Néanmoins, environ 30% de l'Azote minéral apporté aux végétaux est transformé en Azote organique par les microorganismes essentiellement sous forme d'amino-sucres (HEBERT in BONNEAU et SOUCHIER, 1979). Cette transformation biologique de l'Azote est appelée également immobilisation biologique. Cependant, l'Azote minéral qui n'est pas utilisé par les plantes ou perdu par drainage ou par volatilisation est engagé dans des formes de plus en plus stables de complexes tanno protéiques (COULSON et al., 1960; FLAIG in BERNHARD-REVERSAT, 1977; BROADBENT et NAKASHIMA in BONNEAU et SOUCHIER, 1979).

Depuis les travaux de CHAMINADE et DROUINEAU (1936) in BOUNOUARA (1996), confirmés ultérieurement par de nombreux auteurs, on sait que l'Azote minéral existe non seulement sous forme d'Azote nitrique (NO_3) mais aussi sous forme d'Azote ammoniacal (NH_4) non échangeable, fixé sur le complexe argilo humique. En effet, les ions ammonium pénètrent dans le réseau cristallin des minéraux argileux et seront difficilement restitués à la solution du sol (rétrogradation).

III-4- DYNAMIQUE DE L'AZOTE DANS LE SOL

Une partie de l'azote du sol prélevé annuellement du sol par les plantes ou les organismes vivants lui est restituée sous forme organique par la litière ou la mort des organismes. Ainsi l'azote est transféré d'une composante à l'autre du système sol- plante. Au cours de ces transferts, l'azote subit des modifications, modifications qui constituent le *cycle de l'azote*.

La minéralisation de l'azote organique, quasi non assimilable par les plantes, en azote inorganique, assimilable par les plantes, se fait en deux étapes : la première appelée ammonification, qui transforme l'azote organique en ammonium, et la nitrification, qui transforme l'ammonium en nitrates. Dans la plupart des écosystèmes forestiers boréaux la nitrification, comparée à l'ammonification, est un phénomène marginal. Dans les sols forestiers acides la quantité d'azote disponible sous forme d'ammonium est plus importante que celle qui est disponible sous forme de nitrates. L'ammonium est donc la principale, pour ne pas dire, la seule forme d'azote disponible pour la nutrition végétale. JACKSON et al. (1989) in BOUNOUARA, (1996) ont par ailleurs montré que la source d'azote privilégiée par les micro-organismes est également l'ammonium, qui est donc très sensible au phénomène d'immobilisation. La minéralisation nette de l'azote ($\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$) est souvent utilisée comme un indicateur de la disponibilité des nutriments pour les plantes et est donc ainsi directement liée à la productivité des forêts.

L'azote est l'élément limitant la productivité de nombreux écosystèmes partout à travers le monde, autant en forêt boréale (KIMMINS, 1987 in BOUNOUARA, (1996), qu'en forêt tempérée (GALLARDO et SCHLESINGER, 1994 in BOUNOUARA, (1996). Bien que les transformations biologiques de l'azote soient complexes et fassent intervenir un grand nombre de micro-organismes, sa minéralisation est très dépendante de la qualité de la matière organique. CHADWICK et al. (1998) in BOUNOUARA, (1996) ont montré qu'une litière riche en azote et en calcium était plus rapidement décomposée qu'une litière plus pauvre; la cinétique de décomposition de cette dernière étant diminuée de 15 % par rapport à celle d'une litière plus riche. Elle est également très dépendante de la température (ELLERT et BETTANY, 1992; VERBERG et VAN BREEMEN, 1999 in BOUNOUARA, (1996)) et du taux d'humidité du sol (BARG et EEDMONDS, 1999 in BOUNOUARA, (1996)), car ces deux facteurs, comme nous l'avons vu précédemment, affectent l'activité biologique de la biomasse microbienne.

III-4-1- L'humification

L'humification est le processus de transformation de la matière organique en humus sous l'influence de la microfaune et de la microflore. Elle succède à la décomposition des débris organiques. De nouvelles molécules s'élaborent par voie microbienne, et physico-chimique.

L'humification à lieu dans des conditions déterminées de température, d'humidité, de pH, d'aération et de richesse chimique du sol.

Les agents d'humification sont généralement des Bactéries, des Champignons supérieurs (Basidiomycètes) rôle important dans la décomposition de la lignine, et inférieur qui ont un rôle important en conditions défavorables. Des Protozoaires, Vers inférieurs, des annélides: Enchytréides, Lombricidés: réalisent le mélange intime de colloïdes minéraux et organiques avec formation complexes argilo humiques, importants pour la structuration du sol, Mollusques, insectes: larves de Diptères, Collemboles,...

Acariens: actifs surtout dans les amas denses de matières végétales, Myriapodes, Crustacés, Mammifères: actions mécaniques d'ameublissement.

Les recherches qu'a effectué DUCHAUFOR, 1970 ont montré qu'il est nécessaire de diviser les composés humiques; résultats de l'humification, en deux grands groupes, fondamentalement différents: les composés humiques jeunes, encore faiblement polymérisés qui comprennent la presque totalité des acides fulviques, une partie des acides humiques et de l'humine; réponsus dans les climats tempérés, généralement labiles, engendrés par des litières acidifiantes, ils ne s'accumulent pas dans le profil. Les liaisons qu'ils contractent avec les argiles sont si lâches; elles n'exercent aucun effet protecteur vis-à-vis de la décomposition par les microorganismes. Par contre la présence de calcaire dans le sol accélère leur formation et favorise leur conservation.

Les composés humiques stables à grosses molécules sont constitués d'acides humiques gris et d'humine très évolués et liés de façon intime aux argiles, leur formation est favorisée par les contrastes saisonniers, de sorte qu'ils dominent dans les climats continentaux. Les cations et les alcalino-terreux, et la présence d'argiles sont des facteurs favorables à leur formation et à leur conservation.

En ce qui concerne la nutrition Azotée, pour DUCHAUFOR, le rôle des composés humiques est très variable suivant leur résistance à la biodégradation: alors que les composés les plus stables (acides humiques gris) ne jouent qu'un rôle négligeable, il n'en est pas de même des acides humiques labiles, qui se comportent en intermédiaires efficaces: l'Azote minéralisé lors de la décomposition des protéines végétales des litières, se réorganise au sein de ces composés humiques qui permettent son stockage temporaire; les phases de minéralisation et de réorganisation de l'Azote se succèdent à un rythme rapide au gré des saisons, et même à l'occasion de simples variations météorologiques très temporaires. L'Azote est progressivement restitué aux plantes sous forme minérale: l'humus jeune constitue ainsi une réserve d'Azote, qui empêche les pertes

pouvant intervenir soit par évaporation sous forme ammoniacale, soit par lessivage.

III-4-2- La minéralisation

La minéralisation est un ensemble de processus microbiens qui transforme l'Azote organique en Azote minéral. En effet on peut distinguer deux étapes dans la minéralisation : l'ammonification et la nitrification.

III-4-2-1- L'ammonification

L'ammonification est un processus de dégradation biologique très complexe, car l'ammoniac peut provenir de la désamination de nombreuses substances allant des polypeptides aux sucres aminés, à savoir les protéines (35 à 40 %) de la matière organique total, les acides nucléiques (3 à 10 %).

L'ammonification a lieu dans des conditions écologiques extrêmement diverses, du fait qu'elle soit l'œuvre d'un nombre considérable de microorganismes en particulier les bactéries et les champignons qui s'adaptent à ces conditions. (BOUNEAU et SOUCHIER, 1979).

Le produit final de la décomposition reste toujours l'ammoniac sous forme libre NH_3 ou plus souvent NH_4 (LAURENT, 1973 in BOUNOUARA, 1996).

Le devenir de l'Azote ammoniacal est multiple:

- Une partie peut être transformée en nitrates par la microflore nitrifiante.
- Une partie peut être immobilisée par la microflore qui préfère consommer l'Azote ammoniacal.
- Une fraction est réabsorbée par les plantes supérieures.
- Une fraction peut être fixée à la matière organique du sol pour former des composés très stable.
- Une fraction peut être rétrogradée sous l'influence des colloïdes argileux. (FAURIE et al, 1975).

- Une partie se trouve engagée dans des phénomènes physico-chimiques: adsorption sur les complexes argilo humique, neutralisation des acides et formation de sel d'ammonium (CALLEJA, 1971).
- Une fraction peut être perdue par volatilisation sous forme de gaz ammoniacal (NH_3).
- Une autre partie peut être entraînée, donc lessivée par les pluies.

III-4-2-2-La nitrification

La nitrification correspond à une oxydation par certains microorganismes autotrophes ou hétérotrophes de l'Azote ammoniacal qui se fait en deux temps:

A) La nitrosation: elle est assurée par les bactéries nitreuses du genre *Nitrosomonas*; la réaction acidifie le milieu et elle se fait en trois étapes, à chacune desquelles il y a perte de deux électrons et de deux protons.

B) La nitratisation: c'est une réaction d'oxydation, qui succède à la nitrosation mais qui libère moins d'énergie. Elle est assurée par Les bactéries du genre *Nitrobacter*.

Cycle de l'azote dans un écosystème forestier : évolution de l'azote dans une communauté forestière stable

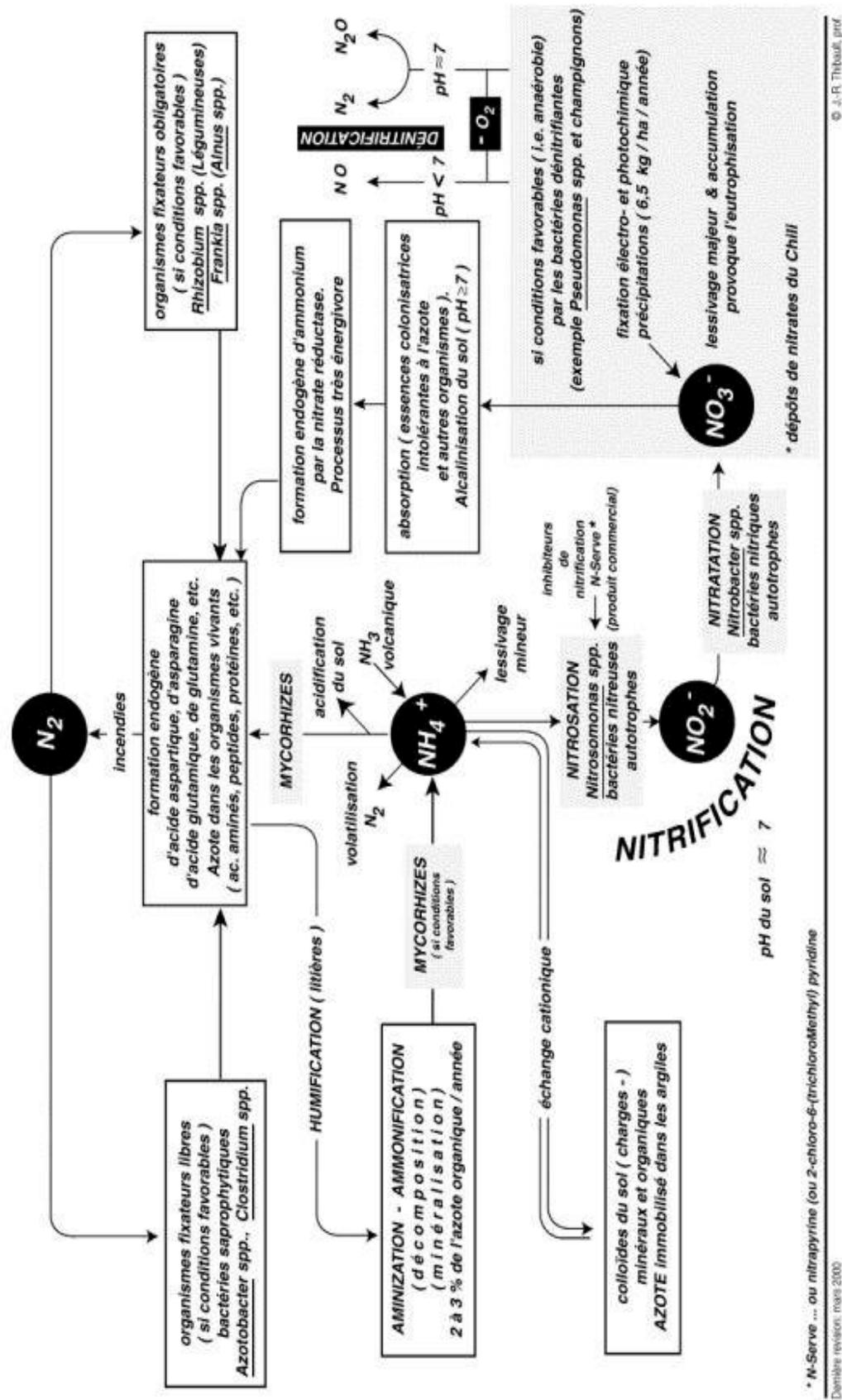


Fig. 03: Cycle de l'Azote dans un écosystème forestier

(Source: http://sylva.for.ulaval.ca/foret/metabolisme/cycle_azote.pdf)

III-5-FACTEURS AFFECTANT LA MINÉRALISATION DE L'AZOTE

III-5-1- Niveau de la nappe phréatique

HACIN et al. (2001). ont mis en évidence que la minéralisation de l'azote était proportionnelle à la teneur en matière organique et qu'elle était de 10 à 40 % plus élevée lorsque le niveau de la nappe était inférieur à 50 cm sous la surface que dans le cas d'une nappe souterraine située plus près de la surface. Cela confirmait les observations de GROFFMAN et al. (1996) qui avaient déterminé que les prédicteurs les plus puissants de l'activité et de la biomasse microbienne étaient le contenu en matière organique et le niveau de la nappe d'eau.

Dans une incubation in situ, Humphrey et PLUTH (1996) ont observé une relation inverse entre la minéralisation de l'azote de tourbières et la teneur en eau du sol.

III-5-2- Température et humidité

La conversion de L'Azote en forme minérale se produit par des transformations biochimiques effectuées par des micro-organismes. Elle est par conséquent influencée par les facteurs qui affectent l'activité microbienne.

Les facteurs principaux affectant la minéralisation de l'azote sont la température et l'humidité (BROWDER et VOLKS, 1978). Les processus microbiens sont les plus actifs, globalement à des températures variant de 20 à 35 °C (KAILA et al., 1953 ; AVNIMELECH, 1971).

Une élévation de la température de 24 °C à 36 °C double la nitrification (AVNIMELECH, 1971). Ainsi la température optimale serait de 30 °C et, en dessous de 5 °C, presque aucune formation de nitrate ne se produirait par minéralisation (STEVENSON, 1986).

L'oxygène et le CO₂ nécessaires aux micro-organismes nitrificateurs sont contenus dans les pores du sol ; par conséquent, une humidité excessive saturant les pores réduit l'aération du sol et l'activité nitrifiante (STEVENSON, 1986).

Le maximum de minéralisation serait atteint à une humidité correspondant à 60 à 80 % de la capacité de rétention d'eau, tandis que le pic de dénitrification se produirait pour une humidité égale à la rétention en eau maximale (SCHEFFER, 1976).

III-5-3- Composition et nature de la matière organique

La matière organique peut être répartie en deux groupes, soient la fraction rapidement minéralisable (fraction légère) et la fraction récalcitrante (fraction dense) (TATE, 1987). La fraction légère est constituée de la biomasse microbienne et de la matière organique faiblement décomposée. La fraction dense est constituée par l'humus.

Les contenus en Azote sont plus élevés dans la fraction à haut poids moléculaire que dans la fraction à faible poids moléculaire. En revanche, les processus de dégradation conduisent à une perte préférentielle de l'Azote de la fraction légère.

La fraction légère présente de fortes teneurs en carbone ainsi qu'un rapport C/N plus élevé que le sol pris dans son ensemble (THEODOROU, 1990). En outre, elle n'est pas reliée à la matrice minérale du sol (GREENLAND et FORD, 1964), contrairement à l'humus. Par conséquent, elle est plus légère et peut être séparée par flottaison. Cette fraction active joue un rôle majeur dans la dynamique des éléments nutritifs dans le sol car, du fait de l'absence de protection par les colloïdes du sol, elle présente une vitesse de renouvellement plus élevée que l'ensemble de la matière organique du sol (GREENLAND et FORD, 1964). Elle est ainsi considérée comme très labile (JANZEN et al., 1992) et contient une quantité considérable de matériel végétal subissant une décomposition active conduisant à la minéralisation des éléments ou à leur conversion en biomasse microbienne ou en substances humiques.

JANZEN et al. (1992) ont observé une relation étroite entre la fraction légère et la respiration du sol, suggérant que la fraction légère est une source importante de Carbone pour les micro-organismes du sol. Cependant, la relation entre la fraction légère et la minéralisation de

L'Azote est moins évidente (BOONE, 1994). SOLLINS et al. (1984) suggèrent que le rapport C/N élevé de la fraction légère conduit à une immobilisation De l'Azote en sol forestier. A l'inverse, CURTIN et WEN (1999) indiquent que l'Azote de la fraction légère est bien corrélé avec l'Azote potentiellement minéralisable dans un large éventail de sols de la Saskatchewan. Ils notent pourtant que cette fraction contribue tardivement à la libération de l'Azote indiquant un taux lent de décomposition de la fraction légère vis-à-vis de l'azote.

Dans une étude d'incubation de 56 semaines sur des sols minéraux, SBIH (1999) a déterminé que l'azote de la fraction légère de la matière organique avait diminué de 77 %, tandis que les sols avaient perdu 82 % de l'azote microbien. SBIH et al. (2003) ont mesuré jusqu'à un tiers de l'azote potentiellement minéralisable libéré durant les 5 premières semaines d'incubation. L'humus participe dans une moindre mesure à la libération d'éléments : 2 à 5 % du carbone de l'humus peut être minéralisé chaque année (FORTIN et al., 1982). Il constitue plutôt un réservoir d'éléments nutritifs dans le sol. Ainsi, l'azote libéré pendant les premières semaines correspond à la fraction active de la matière organique, tandis qu'au cours des mois suivants il y a minéralisation de la fraction plus stable de la matière organique.

Les différentes composantes de la matière organique ne se dégradent pas à la même vitesse. Pour les végétaux, l'ordre est le suivant : protéines > hydrates de carbones > cellulose et hémicellulose > lignine (STEVENSON, 1986). Ainsi, la teneur en ces différents composés influence directement le taux global de minéralisation de la matière organique DINESH et al. (2001) ont trouvé que les teneurs en lignine et en polyphénols influençaient très fortement la minéralisation de l'azote de sols ayant reçu différents amendements d'engrais verts. Ainsi, le rapport (lignine + polyphénol) / N expliquait la vitesse de minéralisation et la quantité d'Azote minéralisé avec un coefficient de corrélation de - 0,80 à - 0,84. La lignine intervient en formant des complexes avec les protéines,

rendant celles-ci résistantes à la minéralisation. L'inhibition par les polyphénols est en revanche moins bien comprise.

III-5-4- Composition élémentaire du sol

Les teneurs en azote, en carbone et en phosphore des sols sont les facteurs qui interviennent de la façon la plus explicite dans la minéralisation de l'Azote. Des études ont mis en évidence une relation positive entre la minéralisation de l'azote et le contenu en Carbone (GRIFFIN et LAINE, 1983) et en Azote (MARION et BLACK, 1987) dans les sols.

Ainsi, PUUSTJARVI (1970) propose un seuil de 17 g N kg^{-1} au-delà duquel la minéralisation de l'azote organique se produit. Cependant, bien plus que les teneurs en ces éléments, ce sont leurs rapports qui sont utilisés pour prévoir la minéralisation de la matière organique. Ainsi, FORD et al. (1989) suggèrent que le rapport C/N du sol est le meilleur prédicteur de la minéralisation de la matière organique. JANSSEN (1996) ont trouvé une relation linéaire négative la quantité d'Azote organique minéralisable et le rapport C/N du sol. Le maximum de décomposition de la matière organique est associé à un rapport C/N inférieur à 29 en sol organique (PUUSTJARVI, 1970). L'incorporation de résidus de rapport C/N supérieur à 29 conduit à une immobilisation nette de l'azote du sol tandis que l'incorporation de résidus de rapport C/N inférieur à 10-15 conduit à une minéralisation nette, libérant des quantités importantes d'azote (ALEXANDER, 1977 ; AULAKH et al., 1991).

D'autres études ont montré que la minéralisation de l'azote de résidus dépend non seulement de leurs rapports élémentaires mais aussi de leur contenu en polyphénol et en lignine (FOX et al., 1990 ; PALM et SANCHEZ, 1991 ; CLEMENT et al., 1995 ; HADAS et al., 1998). Les résidus lignifiés auraient des effets plus limités sur le taux de minéralisation de l'azote.

III-5-5- Activité biologique

La minéralisation de l'azote organique en azote minéral utilise plusieurs réactions chimiques catalysées par différentes enzymes microbiennes (Figure 1).

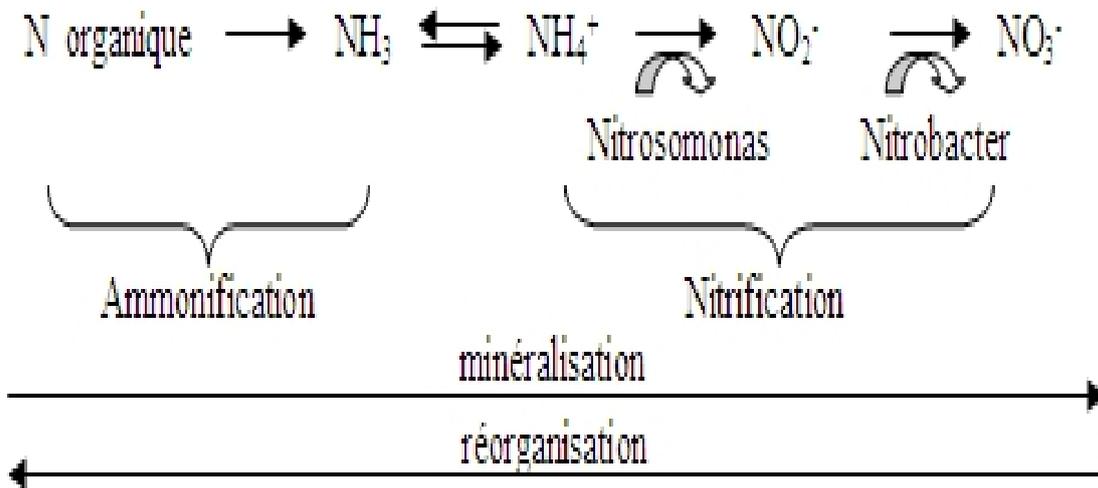


Fig.04 : Dynamique de minéralisation de l'azote dans le sol.

Le processus d'ammonification est dirigé essentiellement par des peptidases et des protéases (STEVENSON, 1986) qui transforment l'azote organique en ammoniac. Ensuite survient la nitrification, impliquant les bactéries *Nitrosomonas* et *Nitrobacter* (STEVENSON, 1986), qui conduit à la formation de nitrate, composé final de la minéralisation. La minéralisation est presque toujours accompagnée d'immobilisation, mais peut également être accompagnée de dénitrification en conditions humides ou en présence de matière organique très fermentescible. La dénitrification consiste en une libération de N_2 ou N_2O dans l'atmosphère à partir de NO_2^- . De ce fait, les teneurs en NO_3^- accumulées sont le résultat de la minéralisation nette de la M.O., qui dépend de l'immobilisation de l'azote par la biomasse du sol. On considère généralement que la quantité d'azote libérée est déterminée par le taux d'accumulation de l'azote dans le sol défini par le taux de nitrification moins le taux de dénitrification (AVNIMELECH, 1971).

III-6- HYDROLYSE ACIDE : ASPECT BIOCHIMIQUE

Cette technique correspond à un fractionnement classique des protéines : on emploie surtout l'acide chlorhydrique 3 ou 6N qui correspond à un composé azéotropique et qui peut être facilement éliminé en fin d'opération. L'hydrolyse acide s'effectue à ébullition sous reflux (BREMNER, 1965b; JANEL et al., 1978 ; GUIRAUD, 1984). Qualitativement on peut distinguer les formes suivantes :

III-6-1- Les aminoacides

Les travaux réalisés dans les sols sous différents climats montrent que l'azote hydrolysable total représente plus de 80% de l'azote total. Parmi cette forme hydrolysable, les aminoacides situent entre 38 et 51% (ALDAG et KICKUTH, 1973 ; SCHNITZER, 1981). Ils ont pour origine principale la synthèse microbienne produite au cours de la décomposition des substances organique.

III-6-2- Les hexosamines

Selon BREMNER (1965a), ALDAG et KICKUTH, (1973), les sucres aminés présents dans les sols sont constitués de glucosamine et de galactosamine. Ces sucres aminés trouvés dans le sol sont essentiellement d'origine microbienne car ils rentrent dans la constitution des polysaccharides bactériens, des actinomycètes et des mollusques.

III-6-3- L'azote ammoniacal libéré par hydrolyse acide

Par rapport à l'azote total, cette forme représente entre 15 et 32% (SCHITZER, 1981) et par conséquent un pourcentage plus faible que les aminoacides. Par ailleurs, l'hydrolyse à chaud provoque aussi la désamination des hydroxy- aminoacides, des amino- alcools, des purines et des pyrimidines. Une autre fraction provient également des ions NH_4^+ fixés sur les feuillets des argiles.

III-6-4- Forme d'azote hydrolysable non identifié

Cette fraction est obtenue par différence entre l'azote hydrolysable total et la somme des autres fractions azotées ; son taux peut atteindre 30% de l'azote total (BREMNER, 1967). D'après ANDREUX et JOCTEUR MONROZIER (1981), les composés non identifiés se concentrent principalement dans les hydrolysats des acides fulviques et plus particulièrement dans les acides humiques (JOCTEUR MONROZIER, 1984). Quant à sa nature chimique, elle est variable il peut s'agir des formes partiellement aminées (ANDREUX et JOCTEUR MONRIZIER, 1981), de l'azote non ∞ - aminé des aminoacides basiques, et de certains lipides. En tenant compte de l'azote non ∞ - aminé des aminoacides basiques, le taux de cette fraction peut être ramené à moins de 15%.

III-6-5- L'azote non hydrolysable

Nombreuses sont les recherches réalisés pour déterminer les processus de formation de ces composés résistants à l'hydrolyse acide ainsi que leur nature chimique et leur turnover. Leur teneur est estimée de 20 à 50% par rapport à l'azote total. Après oxydation chimique avec de l'acide paracétique, une proportion notable de cet azote se libère sous forme gazeuse ; les travaux ont conclu que la nature de cette fraction d'azote est essentiellement non protéique. Selon ANDREUX et JOCTEUR MONROZIER (1981), l'hydrolyse acide par pallier libère davantage d'azote ∞ - aminé que l'hydrolyse en continu surtout dans les milieux riches en polysaccharides et évite de ce fait les réactions secondaires de recombinaison entre ces derniers et les composés azotés.

III-7- PEUPLEMENTS FORESTIERS ET AZOTE DANS LE SOL:

Les peuplements forestiers sont connus par leur rôle dans l'amélioration du statut de l'azote du sol (DOMMERGUES, 1994). Cette amélioration résulte essentiellement de l'apport de matière organique riche en azote par les retombées de litière.

L'enrichissement du sol en azote à partir de la litière est un processus complexe où interviennent la quantité et la qualité des litières (PALM et SANCHEZ, 1990;). En effet, leur décomposition doit permettre l'accumulation d'humus tout en assurant un taux de minéralisation de l'azote satisfaisant pour la nutrition des plantes (GOWER et Son, 1992).

La production d'azote minéral par le sol est un facteur important pour la nutrition azotée, même chez les arbres fixateurs d'azote.

La dynamique de la matière organique (au sens large, litière et matière organique du sol) aboutissant à une bonne disponibilité de l'azote met en jeu des facteurs **climatiques, pédologiques** et **biotiques**. Ces derniers incluent principalement la qualité de la ressource, l'activité des macro- méso- et micro- faunes et l'activité microbienne.

Cette matière organique constitue une source importante d'éléments nutritifs, et c'est en particulier la source majoritaire de l'azote dans cette association végétale ne comprenant pas de fixateurs symbiotiques. Le stock d'azote correspond donc majoritairement à un héritage, pour lequel l'entretien du capital existant est primordial. Au total, les restitutions solides (aériennes) représentent 1395 kg d'Azote, pour un ensemble de la rotation à 19 ans. Il est intéressant de comparer ces quantités aux réserves disponibles du sol ; elles représentent 20 % pour l'Azote.

Ce sont environ 1 400 kg d'azote qui sont recyclés par la nécromasse aérienne totale (litière et arbres morts) et vraisemblablement une quantité voisine liée à la mortalité des fines racines, pour une immobilisation de 180 kg dans la biomasse ligneuse aérienne du peuplement de 19 ans.

Une évaluation simple du temps moyen de résidence de la matière organique et des éléments nutritifs associés à des litières épigées. Les résultats pour le peuplement de 19 ans montrent qu'il est de 8,2 ans pour l'Azote; Ce ne sont que 11 % d'Azote restitués au sol pendant la rotation complète, qui subsistent au sol dans le peuplement de 19 ans ; la différence est recyclée tout au cours de la rotation dans un humus de type mull où le turnover de la matière organique est rapide.

**DEUXIEME PARTIE
ZONE D'ETUDE,
MATERIEL ET
METHODOLOGIE**

Chapitre I : DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

I-1-SITUATION GEOGRAPHIQUE

Les sols étudiés sont situés dans le massif forestier des Aurès, et plus précisément dans le mont du Chélia. Située à quelques kilomètres de Bouhmama vers la limite Est des Aurès, la série Chélia est localisée dans la portion centrale de l'Atlas aurasien. Elle est limitée au Nord par la forêt de BENI OUDJANA, au Sud par l'Oued EL- ABIOD et la forêt domaniale des BENI- IMLOUL, à l'Ouest par Djebel ICHMOUL et à l'Est par la forêt des OULED YACOUB.

Cette cédraie dépend de la conservation des forêts de Batna et de la circonscription d'Arris, elle est située à environ 60 Km au Sud- Est de la ville de Batna. Elle s'étend sur environ 7000 Ha. Elle s'inscrit entre les latitudes Nord $35^{\circ} 18'$ et $35^{\circ} 23'$, et les longitudes Est $06^{\circ} 32'$ et $6^{\circ} 45'$.

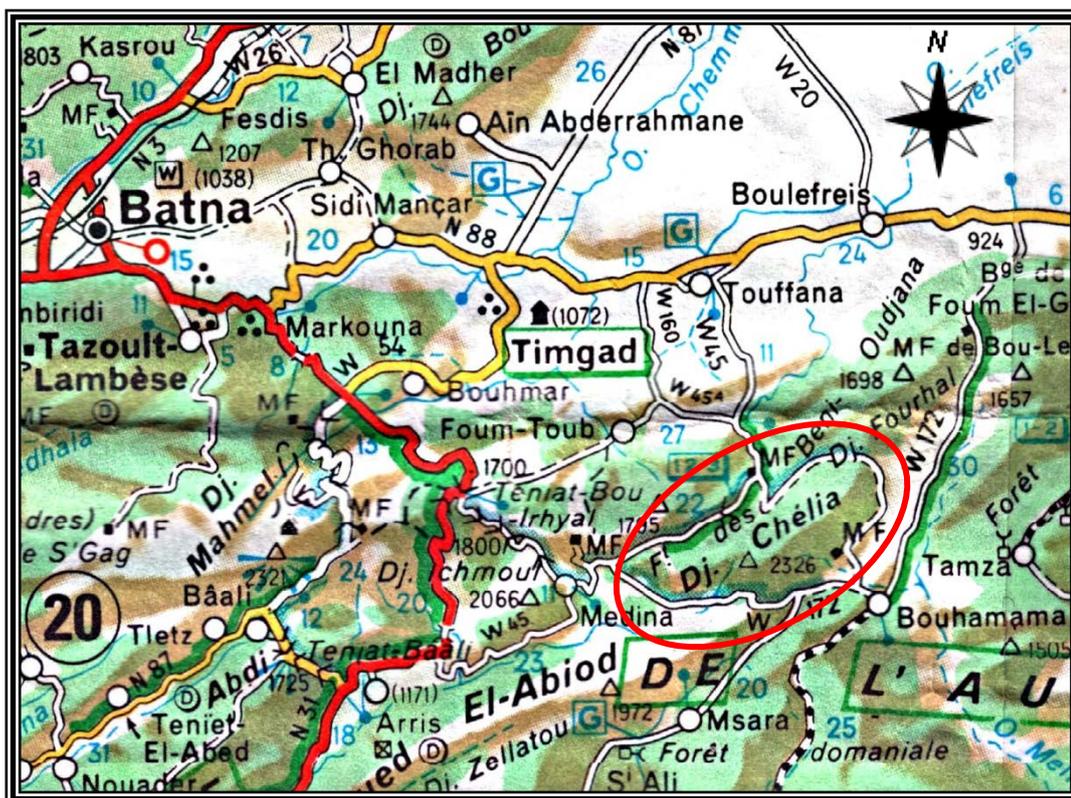


Fig. 05 : Carte de Localisation de la Zone d'étude Dj. CHELIA.
Extrait de la carte touristique du nord de l'Algérie. 1/1000 000

I-2- CARACTERISTIQUES OROGRAPHIQUES

Le massif du Chélia a une orientation Sud- Ouest/ Nord- Est ; Il est traversé par un nombre de vallées et d'oueds comme l'oued TIDER. Son altitude varie de 1300 à 2328 m à RAS KELTOUM qui constitue le point culminant non seulement du massif, mais aussi de toute l'Algérie du Nord (GP Aurès ONTF, 1982).

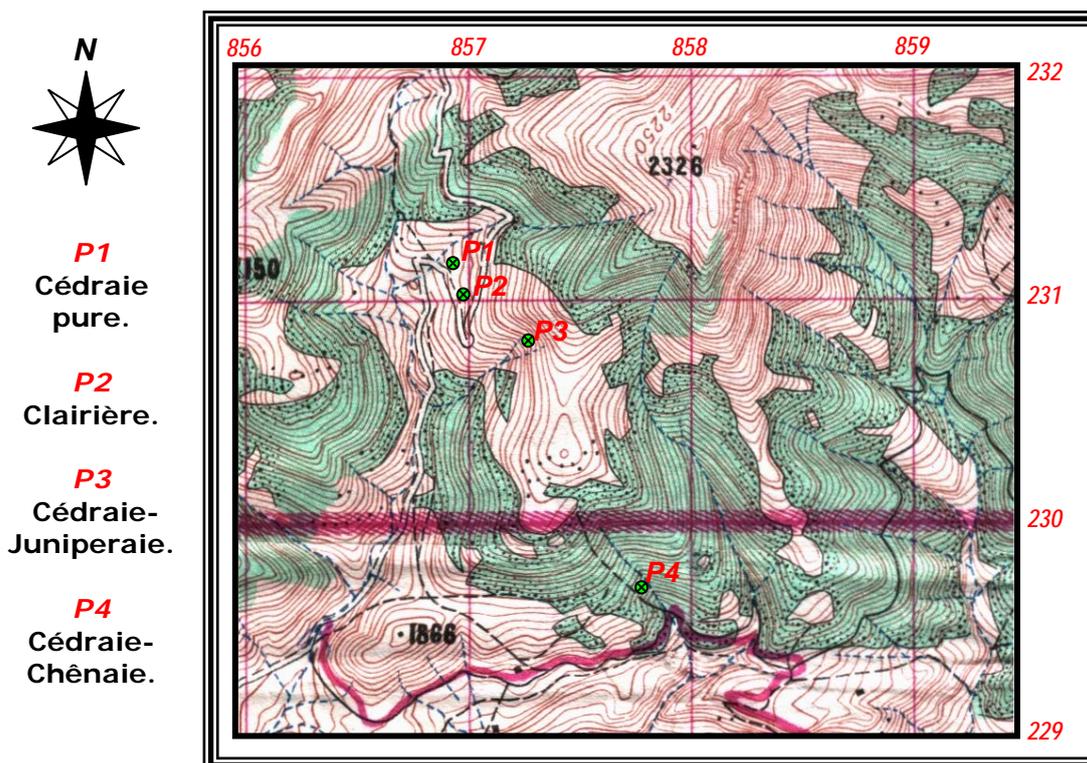


Fig.06: Carte de situation des Stations d'étude «Zone de CHELIA»
Extrait de la carte topographique C.E.M Échelle 1/50 000.

I-3- Caractéristiques lithologiques:

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 (GP Aurès ONTF, 1982).

Aussi, 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.

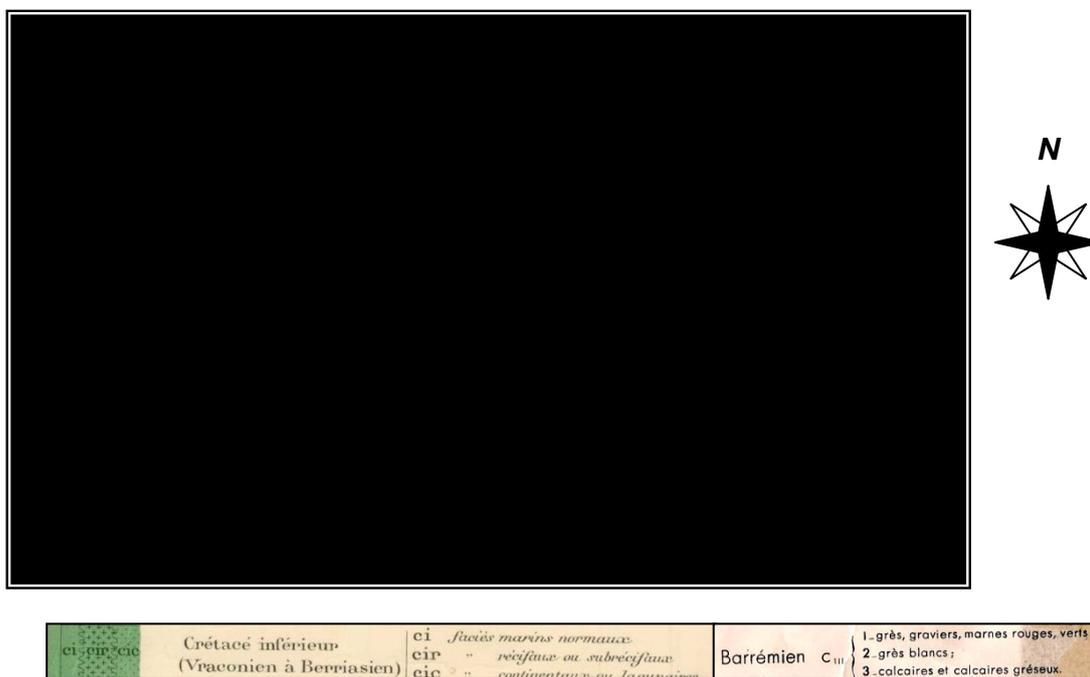


Fig.07 : Extrait de la Carte Géologique ALGERIE NORD-EST Échelle 1/500 000 « Zone de CHELIA »

I-4- Caractéristiques pédologiques:

Sous l'effet de la couverture forestière les sols sont généralement bruns fersialitiques de un profil ABC avec des horizons B de couleur rouge à ocre. Mais, le long des oueds, ce sont des sols peu évolués d'apport alluvial. Les rendzines sont localisées sur les roches mères calcaires. Sur les pentes, on trouve des éboulis sur lesquels se sont développés des sols argileux mais sur les pentes très inclinées, la roche mère affleure.

Comme le rapporta HALITIM (2006), les sols forestiers des Aurès se sont différenciés essentiellement en fonction de la nature de la roche mère. Des indices de brunification (humus mull) et de fersiallisation (couleur rougeâtre) indiquent l'existence de sols fersiallitiques brunifiés ; Il est possible aussi de trouver des sols bruns calciques sur des grès et des rendzines sur des calcaires. Des indices de lessivage des argiles sont souvent observés. Les sols sont peu épais surtout sur les pentes. Mais la

charge caillouteuse est fréquemment élevée même dans les horizons supérieurs à cause des phénomènes de colluvionnement.

Au plan morphodynamique, une forte érosion est observée au voisinage des habitations; elle est liée surtout au surpâturage qui provoque la disparition de la couverture végétale et le tassement des sols. Cependant, une faible érosion est observée sur les versants à pente modérée ou faiblement boisées généralement de Chêne vert.

I-5- CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES

Le massif de Chélia est entrecoupé par des oueds non permanents comme l'oued Tider ; l'écoulement de ces oueds dépend des précipitations d'hiver, surtout de la neige.

I-6- CARACTERISTIQUES CLIMATIQUES

Le climat joue un rôle essentiel dans la répartition de la végétation. Ainsi, son étude se base sur des données fournies par les stations météorologiques. Dans notre zone d'étude, les données climatiques sont fournies par la station de Bouhmama.

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

I-6-1- Les précipitations

Les précipitations mensuelles moyennes enregistrées sont caractérisées par l'irrégularité et par le caractère torrentiel.

La répartition des pluies tout a long de l'année est très inégale et variable.

En moyenne, les pluies reçues sont de l'ordre de 382 mm /an. Les saisons les plus arrosées sont l'hiver et le printemps avec un maximum de pluie enregistré au mois de Mars, Novembre avec une valeur de 42.4 mm. Les plus basses quantités de pluies sont situées vers le mois de juillet sous forme d'orage, avec 17.7 mm.

Tableau 01: Précipitations mensuelles moyennes enregistrées à la station de Bouhmama pendant la période 1970 -2000. (ANRH).

Mois	Jan	Fév	mar	Avr	mai	jui	jui	aou	sep	oct	nov	dec	Total
Précipitations (mm)	36	35	42.4	30.9	34.3	24	17.7	20.9	34.6	29.8	42.4	33.2	382

C'est une zone qui offre plusieurs ensembles bioclimatiques. On rencontre l'étage semi- aride (<600mm), le sub- humide (600-800 mm) et l'humide (>800 mm).

L'augmentation des hauteurs des pluies en montagne, est fonction de l'accroissement altitudinal. En effet, SELTZER (1946) préconise un accroissement de 40 mm pour 100 m d'altitude pour le versant Nord, alors que LE HOUEROU (in ABDESSEMED, 1981) propose un accroissement de 20 mm pour 100 m d'altitude.

Tableau 02: Précipitation extrapolées en fonction de l'altitude.

Altitude (m)	Jan	Fév	mar	avr	mai	jui	jui	aou	sep	oct	Nov	Dec	Total mm
1150	36.8	37.4	41.4	33.6	33.8	24	16.7	18.7	37	39.8	30.9	37.5	387.6
1775	48.7	49.5	54.8	44.4	44.7	31.7	22.1	24.7	48.9	52.6	40.9	49.6	512.6
1930	51.6	52.5	58.1	47.1	47.4	33.7	23.4	26.2	51.9	55.8	43.3	52.6	543.6
1935	51.7	52.5	58.2	47.2	47.5	33.7	23.5	26.3	52.0	55.9	43.4	52.7	544.6
1950	52.0	52.8	58.5	47.5	47.8	33.9	23.6	26.4	52.3	56.2	43.7	53.0	547.6

I-6-2- Les températures

Les températures jouent un rôle capital dans la classification des végétaux, dans l'écopédologie, dans la physiologie des végétaux, ainsi que sur le pédoclimat.

L'examen des données thermiques révèle l'existence de deux saisons contrastées. Cette caractéristique du climat semi-aride, permet de distinguer:

- Une saison froide, dont la température moyenne la plus basse enregistrée au mois de Janvier est de -0.99°C .
- Une saison chaude, avec une température moyenne maximale correspondant au mois d'Août de 32.87°C .

Tableau 03: Valeurs moyennes des températures maximales (M) et minimales (m) station de Bouhmama (1992-2000) (D'après KHERCHOUCHE, 2003).

Mois	Jan	Fév	mar	avr	mai	Jui	jui	aou	sep	oct	Nov	dec
m	-0.9	-0.4	1.43	5.02	9.53	12.88	15.28	17.17	13	08.35	3.70	1.16
M	9.41	9.49	13.74	17.49	24.11	28.57	32.14	32.87	28.25	20.25	14.02	10.20

La continentalité de la région explique la baisse brutale des températures en Automne et l'augmentation rapide de ces températures au printemps.

Les températures diminuent de 0.45°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).

Tableau 04: Températures moyennes mensuelles extrapolées en fonction de l'altitude.

Alt (m)	Jan	Fév	Mar	Avr	mai	jui	jui	aou	sep	oct	Nov	dec
1150	4.30	4.65	7.7	11.36	16.93	20.83	23.82	25.13	20.73	14.41	8.97	5.79
1775	0.55	0.90	3.95	7.61	13.18	17.08	20.07	21.38	16.98	10.66	5.22	2.04
1930	-0.38	-0.03	3.02	6.68	12.25	16.15	19.14	20.45	16.05	9.73	4.29	1.11
1935	-0.41	-0.06	2.99	6.65	12.22	16.12	19.11	20.42	16.02	9.70	4.26	1.08
1950	-0.50	-0.15	2.90	6.56	12.13	16.03	19.02	20.33	15.93	9.61	4.17	0.99

I-6-3- Autres données climatiques

- **La neige:** La neige constitue la principale source des réserves en eau des sols et assure la protection des jeunes pousses contre les gelées. Ainsi, elle joue le rôle d'écran thermique vis-à-vis des semis de Cèdre (TOTH, 1971). La neige est également très efficace pour l'alimentation des nappes superficielles. La période de chute de neige débute au mois de Janvier et s'étale jusqu'au mois de Mars. La durée d'enneigement varie de 10 à 15 jours par an (in BENSID, 1996).
- **Les gelées:** Les gelées se manifestent à des températures inférieures à 10°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, les premiers; Sud- Ouest (secs et chauds: SIROCCO) surviennent au mois de Juillet, favorisent l'évapotranspiration et causant le dessèchement des jeunes pousses, les seconds; Nord-Ouest, fréquents en Automne, sont caractérisés par la pluviosité et la vitesse qui peut atteindre 7.5 m/s.

I-6-4- Les 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.

I-6-4-1-Le diagramme de BAGNOULS et GAUSSEN

Ce diagramme ombrothermique fait intervenir les pluies et les températures moyennes mensuelles. Cette représentation fait ressortir les mois secs dans l'année. Pour GAUSSEN un mois est sec si $P < 2T$.

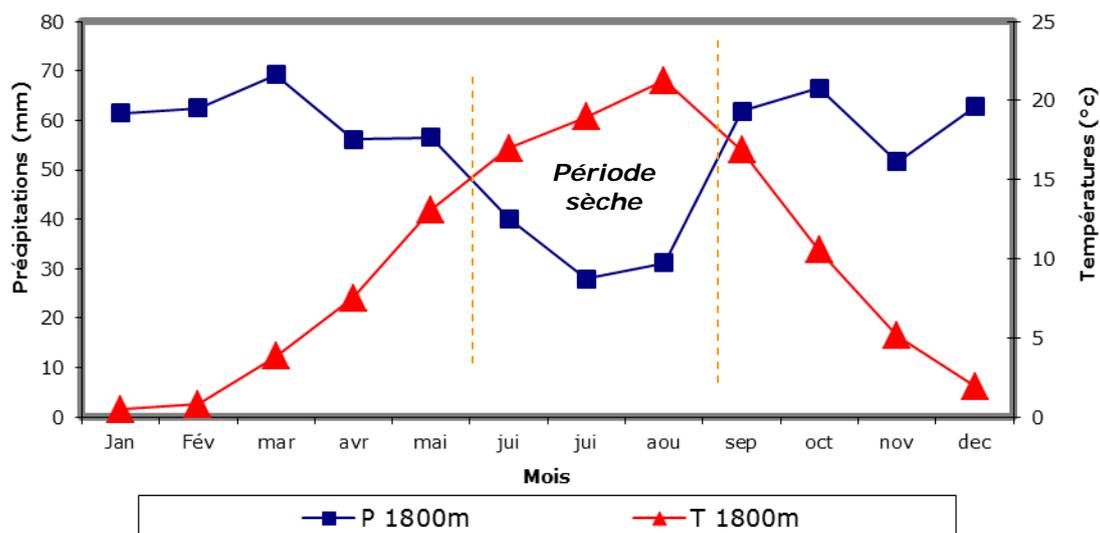


Fig.08: Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN ET

D'après le diagramme ombrothermique de GausSEN et Bagnouls, la période sèche dans notre zone s'étale sur une durée de 03 mois (mois de Juin jusqu' au mois d'Août).

I-6-4-2- Le Climagramme d'EMBERGER

Ce quotient pluviothermique est une représentation graphique issue d'une formule où la valeur des précipitations en mm est divisée par une expression de la température en degré Kelvin. Cette expression est choisie en fonction de la vie végétale. Elle s'écrit comme suit:

$$Q_2 = 1000P / ((M+m)/2 \times (M-m)) \text{ soit } 2000P/M^2 - m^2$$

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

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

Où:

P : précipitations annuelles (mm)

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

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

M et m sont exprimés dans l'expression de STEWART en °Celsius.

Le climat est d'autant plus sec que Q_2 est plus faible.

Bioclimatiquement, les Cédraies de la série Chélia se trouvent dans les étages sub- humides froids.

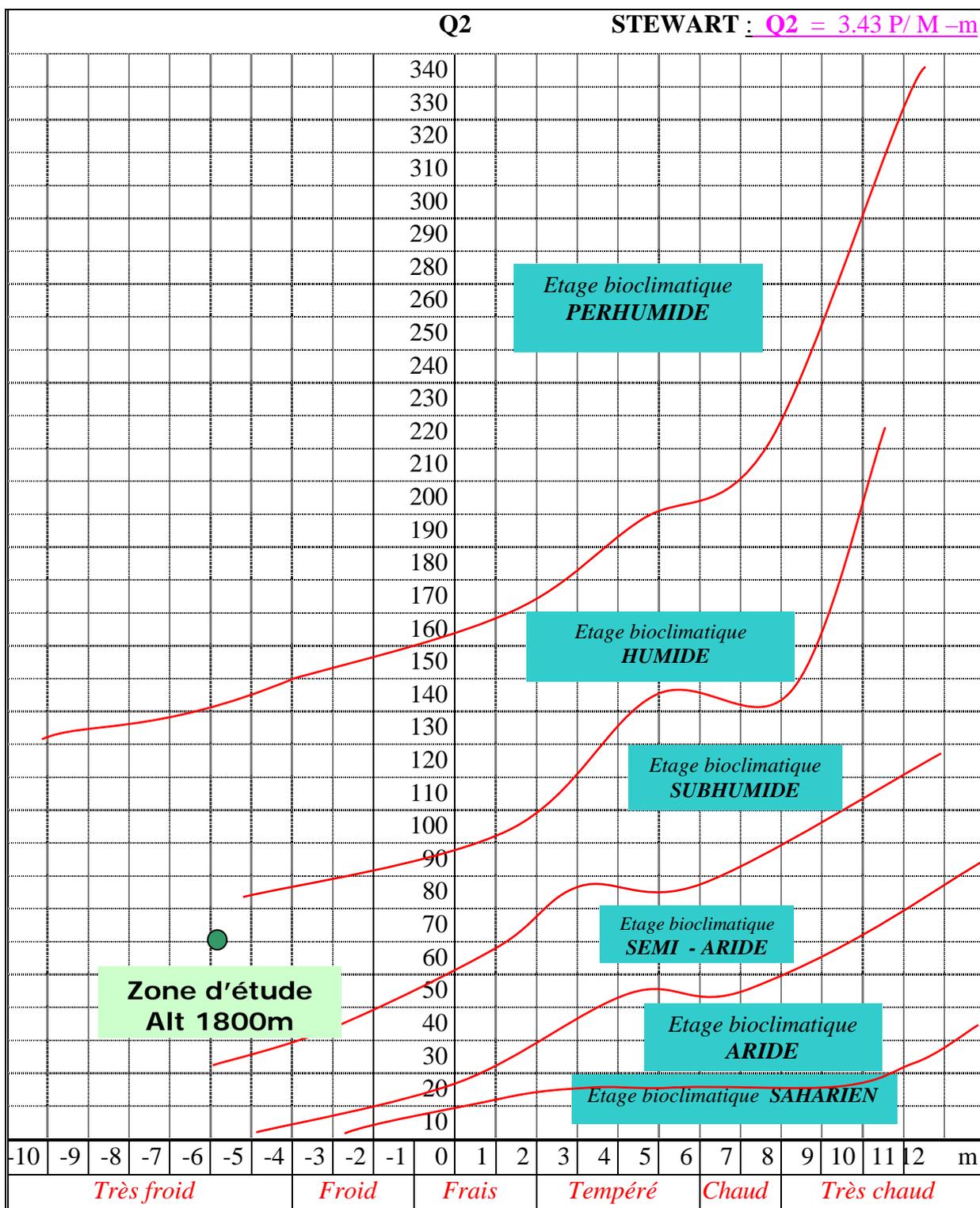


Fig.09 : CLIMAGRAMME D'EMBERGER « Zone d'étude ».

I-7- DESCRIPTION DE LA VEGETATION DES STATIONS ETUDIEES

Dans la zone d'étude, le couvert forestier est constitué en grande partie de Cèdre, à un degré moindre d'un mélange cèdre –Chêne, et d'un mélange Cèdre-Thurifère beaucoup moins important que les deux précédents ; ce dernier constitue une exclusivité de la cédraie de Chélia .

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.

Cependant, le bétail pose un grand problème, car la zone subit une grande pression au plan du pâturage.

Dans le massif du Chélia, le Cèdre se trouve en état de dégradation à cause de facteurs climatiques, et surtout anthropiques tels que, le surpâturage, l'exploitation non contrôlée des perchis, et les coupes illicites.

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*).
- Frêne (*Fraxinus xanthoxyloides*).
- L'if (*Taxus baccata*).
- Le diss (*Ampelodesma mauritanica*).
- L'érable de Montpellier (*Acer monspessulanum*,L).
- Le sorbier (*Sorbus aria*).
- Le genêt à trois pointes (*Genista tricuspidata*).
- Aubépine laciniée (*Grataegus laciniata*).

- Aubépine monogyne (*Grataegus monogyna*).
- *Pirus longipes*.
- *Cytisus balancae*.
- *Cotoneaster fantaneseil*.

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 du Chélia ; elle est caractérisée par des variations écologiques à savoir; l'altitude, la pente, l'exposition, le sol, le régime hydrique (GP Aurès, 1982). On rencontre au Chélia quatre principaux types de peuplements en fonction de l'altitude:

- Les pelouses de haute montagne (+ de 2000 m).
- La cédraie pure de haute montagne (1800 à 2000m).
- La cédraie à Chêne vert (1600 à 1800 m).
- La chênaie (1500 à 1600 m).

Chapitre II : MATERIEL D'ETUDE

II-1- SOL ET ECHANTILLONNAGE

Les sols étudiés proviennent de la région de Chélia. Ils sont développés sur des matériaux siliceux et ferrifères (grès ferrugineux).

L'échantillonnage est basé sur le concept de la station forestière (une étendue de terrain de superficie variable (quelques m² à plusieurs dizaines d'ha), homogène dans ses conditions physiques et biologiques : mésoclimat, topographie, composition floristique, sol, dynamique et structure de la végétation spontanée. Une station forestière justifie, pour une essence déterminée, une sylviculture précise avec laquelle on peut espérer une productivité comprise entre des limites connues.), chaque station forestière se caractérise par un type pédologique précis.

Une fois le lieu d'implantations des profils choisis, les informations stationnelles suivantes sont notées: Numéros du profil, l'altitude, localisation (sur une carte topographique), pente, géomorphologie (haut versant, mi- versant, bas versant), la végétation (pour la décrire, nous avons utilisé la terminologie descriptive; futaie de cèdre pure, mixte, tallis de chêne vert,...etc).

Une fois ces indications notées, nous avons procédé au rafraîchissement des fosses, la profondeur est variable, mais le plus souvent limitée par l'apparition de la roche mère dure.

Après cette opération, nous avons procédé à la description des niveaux visibles selon les différences de morphologie et de couleur observées sur le terrain. L'épaisseur des niveaux est variable ; elle dépend essentiellement du type de sol et de son évolution.

Des échantillons de sol ont été prélevés (en commençant le prélèvement du bas en haut), et placés dans des sacs en polyéthylène étiquetés. Toutes les analyses physico- chimiques sont réalisées sur ces échantillons.

Quatre profils ont été choisis dans les différentes stations;

- Un profil dans la Cédraie pure,

- Un deuxième profil dans la Cédraie- Chênaie,
- Un troisième profil dans la Cédraie– Juniperaie (Genévrier thurifère),
- Un quatrième profil, situé dans une clairière, considérée comme témoin sans végétation ligneuse.

Les échantillons de sol ont été prélevés au mois de Décembre (année 2005).

II-2- DESCRIPTION DES PROFILS

II-2-1- Description du profil I (Clairière):



Fig. 10 : Photo présentant la station témoin : la pelouse forestière (clairière).

Localisation: sur la CARTE topographique feuille "CHELIA": 1/50 000

Longitude : 6°37'31" E.

Latitude : 35°18'42" N.

Altitude: 1935 m.

Géologie: D'après la carte géologique 1/500 000 (Nord Est ALGERIE) la zone appartient au Crétacé inférieur (Barrémien).

Géomorphologie: Mi- versant.

Pente: 29%

Exposition: Ouest Sud-Ouest. (OSO)

Roche mère: Grès siliceux ferrugineux.

Classification du sol: Sol fersiallitique brunifié. (MESSAADIA, 2005 ; communications orales).

Végétation: Formation asylvatique caractérisée par la présence d'espèces héliophiles et xérophiles organisée en coussinet telles que *Asphodelus*

microcarpus, *Euphorbia biglandulosa*, *Bupleurum spinosum* et *Erinacea anthyllis*.



Asphodelus microcarpus



Bupleurum spinosum



Euphorbia biglandulosa



Erinacea anthyllis

Fig.11 : Photos présentant les espèces présentes dans la pelouse

A₀L 0- 4 cm: Couleur brune,

A1 0- 10 cm: Brun, limono-argileux, structure grumeleuse, bonne activité biologique, pas d'effervescence à HCl, poreux, racines intenses. Gravier peu abondants, transition diffuse.

A2 10- 40 cm: brun, argilo-limoneux, structure polyédrique, caillouteux, pas d'effervescence à l'HCl, racines abondantes, transition nette entre les horizons.

B 40- 60 cm: ocre clair, plus argileux, charge caillouteuse moins importante, structure polyédrique, activité biologique moyenne à faible, faible présence des racines, moins poreux, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette.

B_t 60- 100 cm: Ocre foncé, aspect compact, texture argileuse, structure prismatique, porosité faible, très peu de racines, horizon d'accumulation en argile, transition très nette.

C >100 cm: ocre jaunâtre, résultant de l'Altération du grès ferrugineux, très compact.

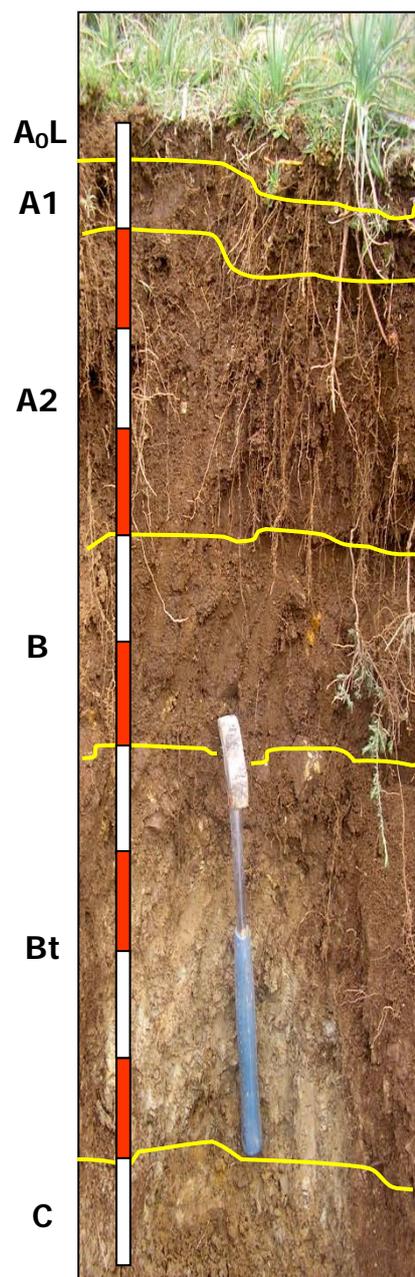


Fig.12: photo présentant le profil pédologique réalisé dans la station forestière1: la clairière.

II-2-2- Description du profil II (cédraie pure)

Fig. 13 : Photo présentant la station cédraie pure.

Localisation: sur la carte topographique feuille "CHELIA": 1/50000.

Longitude : 6°37'30" E.

Latitude : 35°18'45" N.

Altitude: 1930 m.

Géologie: D'après la carte géologique 1/500 000 (Nord Est ALGERIE) la zone appartient au Crétacé inférieur (Barrémien).

Géomorphologie: Mi- versant.

Pente: 24%

Exposition: Ouest Sud-Ouest. (OSO)

Roche mère: Grès siliceux ferrugineux.

Classification du sol: Sol fersiallitique brunifié.

Végétation: Jeune futaie monospécifique à Cèdre de l'Atlas. Sous bois de graminées. Régénération naturelle faible. Pâturage intense.

A₀L 0- 4 cm: Couleur brune, présence d'aiguilles de Cèdre fraîches et partiellement décomposées

A1 0- 20 cm: Brun, limono- argileux, structure grumeleuse, bonne activité biologique, pas d'effervescence à HCl, poreux, Systèmes racinaires de graminées et de Cèdre intenses. Gravieres de grès abondants, pas de transition nette entre les horizons.

A2 20- 50 cm: moins brun qu'au dessus, argilo- limoneux, structure polyédrique, riche en graviers de grès, pas d'effervescence à l'HCl, présence de systèmes racinaires de cèdre, pas de transition nette entre les horizons.

B 50- 70 cm: ocre clair, plus argileux, charge caillouteuse moins importante, structure polyédrique, activité biologique moyenne à faible, faible présence racinaires, moins poreux, pas d'effervescence à l'HCl, transition très nette.

B_t 70- 100 cm: Couleur bariolée, aspect compact, texture argileuse, structure prismatique, peu poreux, très peu de racines, horizon d'accumulation par illuviation en argile, transition très nette.

C >100 cm: ocre, résultant de l'Altération du grès ferrugineux, très compact.

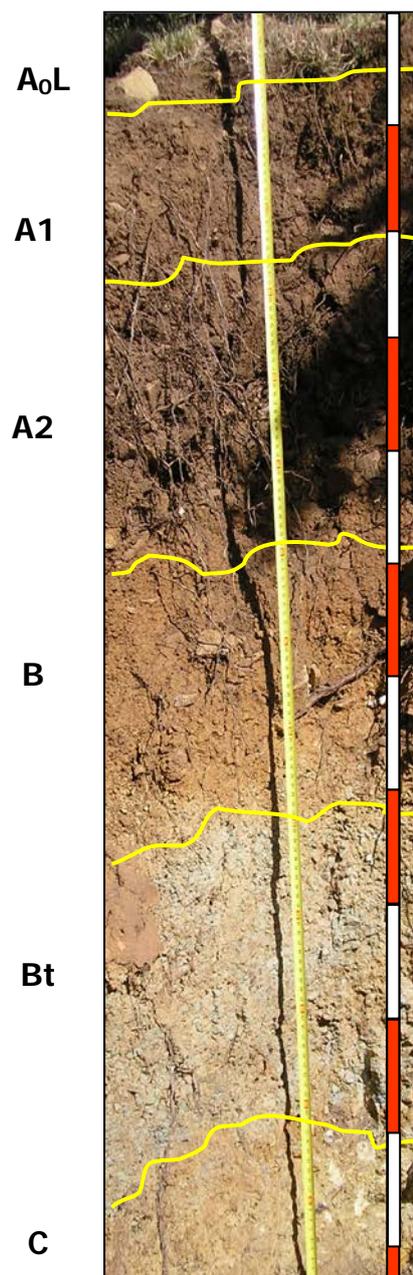


Fig.14 : photo présentant le profil pédologique réalisé dans la station forestière2: la cédraie pure.

II-2-3- Description du profil III (Cédraie- Chênaie):

Fig. 15 : Photo présentant la station cédraie-Chênaie.

Localisation: sur topographique feuille "CHELIA": 1/50000

Longitude : 6° 38'02" E.

Latitude : 35° 18'01" N.

Altitude: 1775 m.

Géologie: D'après la carte géologique 1/500 000 (Nord Est ALGERIE) la zone appartient au Crétacé inférieur (Barrémien).

Géomorphologie: Bas- versant.

Pente: 38%

Exposition: Sud Est. (SE)

Roche mère: Grès siliceux ferrugineux.

Classification du sol: Sol fersiallitique brunifié.

Végétation: Chênaie à Cèdre de l'Atlas. Sous bois de graminées. Régénération naturelle plus importante que la première station. Pâturage modéré.

A_{0L} 0- 4 cm: Couleur brun foncé, aiguilles de Cèdre moins abondantes que les feuilles de Chêne vert.

A 0- 10 cm: Brun moins foncé qu'en haut, limoneux, structure grumeleuse, bonne activité biologique, pas d'effervescence à HCl, poreux, Systèmes racinaires intenses. Peu de graviers de grès, transition nette entre les horizons.

B 10- 30 cm: moins brun qu'au dessus, limono- argileux , structure en grumeaux , riche en graviers de grès, pas d'effervescence à l'HCl, systèmes racinaires de Chêne et de cèdre, transition nette entre les horizons.

B_t 30- 70 cm: Couleur marron claire à châtain, aspect compact, texture argileuse, structure prismatique, porosité très faible, très peu de racines, horizon d'accumulation d'argile, transition très nette.

C >70 cm: ocre, résultant de l'Altération du grès ferrugineux, très compact.

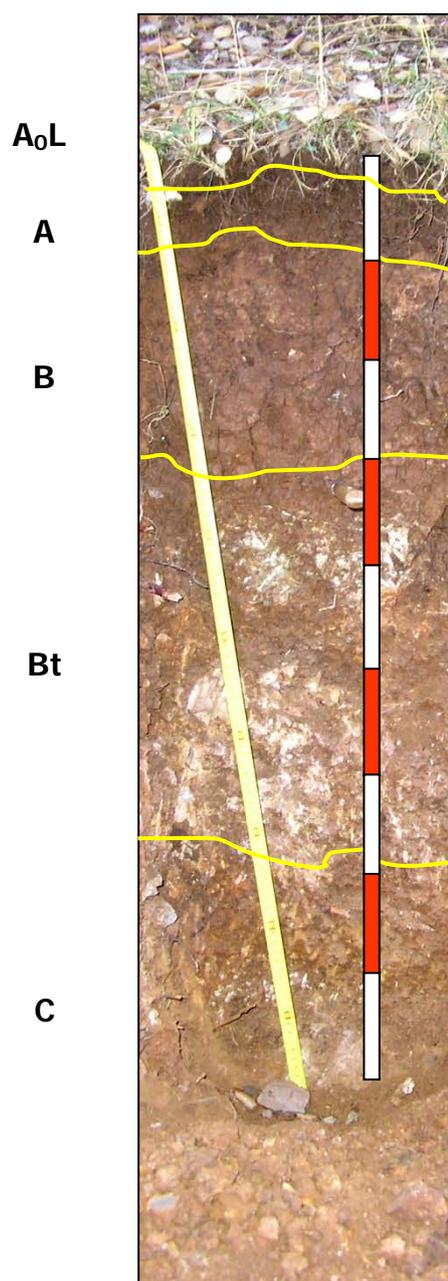


Fig.16 : photo présentant le profil pédologique réalisé dans la station forestière3: la cédraie-chênaie.

II-2-4- Description du profil IV (Cédraie- Thuriferaie)



Fig. 17 : Photo présentant la station cédraie-Thuriferaie.

Localisation: sur la CARTE topographique feuille "CHELIA": 1/50000

Longitude : 6°37'37" E.

Latitude : 35°18'37" N.

Altitude: 1950 m.

Géologie: D'après la carte géologique 1/500 000 (Nord Est ALGERIE) la zone appartient au Crétacé inférieur (Barrémien).

Géomorphologie: Mi- versant.

Pente: 32%

Exposition: Sud Ouest. (SO)

Roche mère: Grès siliceux ferrugineux.

Classification du sol: Sol fersialitique brunifié.

Végétation: Cèdre en mélange avec le genévrier thurifère. Régénération naturelle faible. Pâturage intense.

A_{0L} 0- 4 cm: Couleur brune, présence d'aiguilles de Cèdre plus ou moins décomposés.

A₁ 0- 10 cm: Brun, limono-argileux, structure grumeleuse, bonne activité biologique, pas d'effervescence à HCl, poreux, racines intenses. Gravières peu abondants, pas de transition nette entre les horizons.

A₂ 10- 40 cm: brun, argilo-limoneux, structure polyédrique, caillouteux, pas d'effervescence à l'HCl, racines abondantes, transition nette entre les horizons.

B 40- 60 cm: ocre clair, plus argileux, charge caillouteuse moins importante, structure polyédrique, activité biologique moyenne à faible, faible présence des racines, moins poreux, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette.

B_t 60- 100 cm: Ocre foncé, aspect compact, texture argileuse, structure prismatique, porosité faible, très peu de racines, horizon d'accumulation en argile, transition très nette.

C >100 cm: ocre jaunâtre, résultant de l'Altération du grès ferrugineux, très compact.

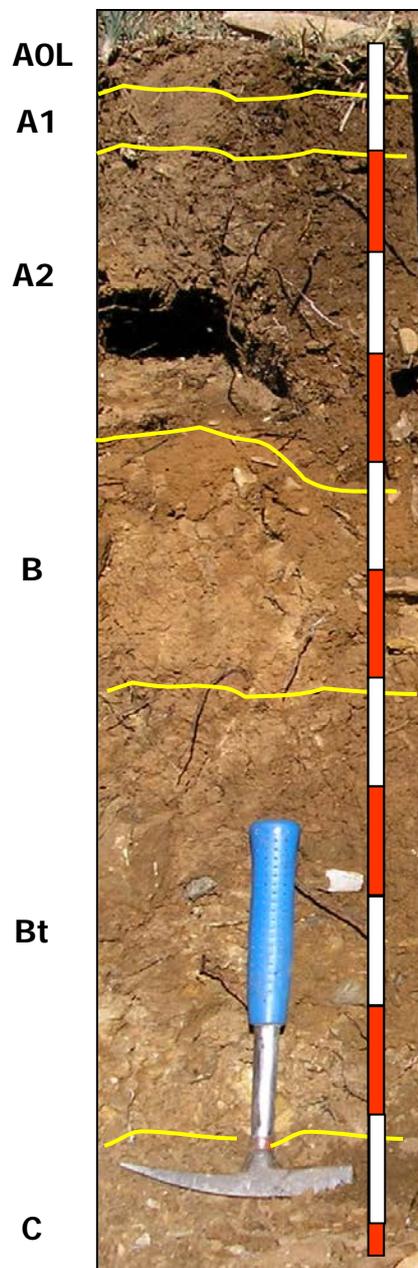


Fig.18 : photo présentant le profil pédologique réalisé dans la station forestière1: la Cédraie-Thuriferaie.

Chapitre III : METHODOLOGIE

III-1- REALISATION DES ANALYSES PRELIMINAIRES AU LABORATOIRE

Le but de ces analyses est de mettre en évidence certaines caractéristiques physico-chimiques afin de pouvoir définir l'incidence du paramètre "pédologie" sur l'individualisation de la végétation.

Après avoir séché les échantillons de sol à l'air libre et tamisé à 2mm, les analyses suivantes ont été réalisés sur l'Horizon supérieur aux laboratoires du département d'agronomie (université de Batna).

- La granulométrie: la détermination du pourcentage de chaque fraction du sol a été obtenue par la méthode internationale (pipette ROBINSON).Après avoir détruit la matière organique par l'eau oxygénée, les particules sont dispersées par l'hexamétaphosphate de sodium. Toutefois, les particules dont le diamètre est supérieur à 50 micromètres sont séparées par tamisage; ce sont les sables. Les particules moyennes et fines sont obtenues par la mesure de la vitesse de sédimentation.
- Le pH: c'est la concentration en ions H^+ libres existant dans la solution du sol (acidité actuelle). La mesure du pH s'est faite par un pH- mètre à électrode dans une solution sol eau.
- Le carbone organique total: Le dosage du carbone peut s'opérer par voie humide (technique de ANNE, 1945) Le carbone de la matière organique est oxyde par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique. On admet que l'oxygène consommé est proportionnel au carbone que l'on veut doser. L'excès de bichromate inutilisé dans la réaction est dosé par le sel de MOHR.
- L'Azote total: l'Azote total est déterminé par la méthode KJELDHAL.

Les résultats des analyses préliminaires sont présentés dans le tableau ci-dessous:

Tableau 05 : Tableau présentant les résultats des analyses préliminaires des sols des différents profils effectués sur le terrain.

Type d'analyse	Sol sous cèdre	Sol sous cèdre Chêne	Sol sous cèdre thurifère	Sol sous pelouse forestière	Unité
Argile	18.29	10,48	18,51	12,30	%
Limon fin	8.56	11,33	9,98	11,78	%
Limon grossier	31.27	35,61	30,37	33,96	%
Sable fin	33.12	36,85	35,15	35,21	%
Sable grossier	6.23	5,71	5,99	6,50	%
PH eau	7.16	7,87	5,92	7,67	-
Matière organique	12.70	23,38	14,8	24,53	%
Carbone organique	6.35	11,69	7,4	12,41	%
Azote total (Nh4-No3)	0,39	0.67	0,42	0,75	%
Rapport (C/N)	16,28	17,44	17,61	16,54	-

D'après les résultats des analyses préliminaires des sols, nous constatons que les sols de la cédraie pure et de la Cédraie à thurifère sont de texture limon sablo-argileuse, les sols de la cédraie- Chênaie et de la pelouse sont cependant d'une texture limon sableux. La structure est grumeleuse en surface et polyédrique en profondeur pour les quatre sols.

Au plan chimique, les sols présentent un pH légèrement alcalin; 7,67 pour la clairière et 7,87 pour la cédraie-chênaie, neutre pour le sol de la Cédraie pure 7,16 et acide pour le sol de la cédraie à thurifère 5,92. Nous avons constaté des taux très élevés de matière organique dans les sols de la clairière et dans la Cédraie- Chênaie avec 24,53% et 23,38% et des taux presque comparables mais moins importants pour les deux autres

sols; 14.8% pour la Cédraie à thurifère et 12.68% pour la Cédraie pure. L'Azote total des quatre sols est comme suit:

- 0.75% pour la clairière;
- 0.39% pour la Cédraie pure;
- 0.67% pour la Cédraie- Chênaie;
- 0.42% pour la Cédraie- Juniperaie.

III-2- DOSAGE DES DIFFERENTES FRACTIONS D'AZOTE

Afin d'identifier un indicateur de prévision de la fourniture d'azote aux arbres et aux semis de cèdre par le sol, nous avons employé trois méthodes permettant de caractériser l'azote organique du sol. Trois tests chimiques (méthode Kjeldahl, extraction de l'azote par une solution de K_2SO_4 (N) ou KCl (N), fractionnement de l'azote par hydrolyse acide) ont été appliqués à un sol fersiallitique brunifié (Chélia).

III-2-1- Dosage de l'Azote total

L'Azote est un des principaux éléments de la nourriture des plantes. Il entre principalement dans la composition de la matière organique ; le sol comprend aussi des formes minérales. Elles sont représentées par les nitrates, les nitrites et l'ammoniac dont la quantité globale représente les 2 à 3% des réserves totales de l'Azote.

III-2-1-1- Principe

Le principe général de la méthode KJELDAHL est que l'azote de la matière organique du sol est transformé en Azote ammoniacal par l'acide sulfurique concentré et porté à ébullition, qui agit comme oxydant et qui détruit la matière organique. Le carbone et l'hydrogène se dégagent à l'état de CO_2 et H_2O ; l'azote transformé en ammoniac est fixé par de l'acide sulfurique à l'état de sulfate d'ammonium. La transformation de l'azote organique en forme ammoniacale est achevée en présence d'un

catalyseur (Sulfate de Cu et Sulfate de K⁺) qui rend l'action de H₂SO₄ plus efficace en augmentant la température d'ébullition.

En agissant avec un alcalin sur (NH₄)₂SO₄, on substitue l'ammoniac, on le distille dans l'acide borique à 2% puis on la titre avec une solution de l'acide sulfurique 0.05 N.

La quantité d'acide sulfurique 0.05N neutralisée par l'ammoniac est :
n ml

Où n = ml d'acide utilisé pour l'échantillon

A 1ml d'acide sulfurique 0.05N correspond 0.7 mg.

$$N\% = \frac{n \cdot 0.28}{P} \times \frac{100}{1000}$$

n = ml d'acide utilisé pour échantillon.

P = le poids d'échantillon prise en g.

III-2-2- Dosage de l'Azote minéral

L'Azote est absorbé sous les deux formes, ammoniacal et nitrique. L'ammonium est produit dans le sol suite à la minéralisation de la matière organique. Les nitrates sont le produit final des transformations que subit l'Azote ammoniacal dans le sol.

L'Azote peut être perdu par volatilisation (dénitrification) et par lexiviation. En effet, l'Azote ammoniacal n'est pas entraîné par migration car il est fixé sur les charges négatives du complexe argilo- humique.

III-2-2-1- Principe

L'azote minéral est déterminé en utilisant une solution KCl (2N) ou de K₂SO₄ (1N). L'ammonium et les nitrates sont déterminés par distillation de l'ammoniac en utilisant, MgO ou NaOH pour distiller NH₄ et l'alliage de DEWARDA dans l'NO₃. Le distillât est piégé dans une solution d'acide borique. Titration avec une solution d'acide sulfurique diluée (0.05N).

III-2-3- Dispositif expérimental du fractionnement de l'Azote organique

L'Azote organique constitue la différence entre l'Azote total et l'Azote minéral ; comme on peut l'obtenir par minéralisation selon la méthode Kjeldhal.

III-2-3-1- Principe

La méthode de référence a été mise au point par BREMNER (1965) puis reprise par STEVENSON (1982a; 1996) in BOUNOUARA, 1996. Elle résulte de l'adaptation de techniques beaucoup plus anciennes d'hydrolyse des protéines en vue de leur caractérisation.

D'après BREMNER, 60 à 80% de l'azote total du sol se trouve solubilisé par le traitement utilisé pour l'hydrolyse acide des protéines. STEVENSON (1982a) BOUNOUARA, 1996a situent la quantité d'azote non hydrolysé par l'attaque acide entre 25 et 35% de l'azote total. Selon lui, cet azote est un élément structural des substances humiques.

Le caractère protéique de l'azote organique du sol fait que, 20 à 40% de l'azote hydrolysé est sous la forme d'acides aminés.

Cette méthode d'attaque fournit également une quantité importante d'ammoniac (20 à 35% de l'azote total du sol). La provenance de cet ammoniac est multiple: dégradation des formes amidées des protéines, destruction de certains acides aminés, destruction des hexosamines et libération d'ammonium fixé par les argiles.

L'azote des amino- sucres représente une proportion moins importante entre 5 et 10% de l'azote total du sol. Enfin, une part assez importante, représentant 10 à 20% de l'azote du sol, n'est pas identifiée ; elle est appelée " Azote indéterminé".

La méthode comporte plusieurs distillations de l'ammonium libre, des hexosamines, des acides aminés. Elle peut être moins précise que la méthode spectrométrique et chromatographique mais, elle a l'avantage d'être une technique simple; le même appareillage de distillation permet de déterminer toutes les fractions de l'azote du sol.

III-2-3-2- Technique de l'hydrolyse acide

Sous reflux, l'échantillon de sol est attaqué par l'acide chlorhydrique 6N. Après 6 heures d'hydrolyse à chaud, l'hydrolysate est centrifugé pour séparer la phase liquide de la phase solide. Sur l'hydrolysate on détermine:

- Une fraction distillable N_{hd} en milieu alcalin qui comprendra essentiellement les formes N- NH_4^+ et N- amino sucres, mais aussi certaines formes amidées, amino phénols (EGOUMINIDES et al., 1987);
- Une fraction non distillable N_{hnd} qui contient essentiellement les acides aminés et de l'azote non identifié. Cette fraction est obtenue par différence entre l'Azote total (obtenu par digestion KJELDAHL) et l'azote hydrolysable distillable.

En outre, l'azote non hydrolysable (N_{nh}) peut être obtenu comme précédemment soit par différence entre l'Azote total KJELDAHL et l'Azote hydrolysable total, soit par minéralisation KJELDAHL du culot d'hydrolyse. Cette méthode simplifiée a été mise au point et utilisée par EGOUMINIDES et al. (1987) pour préciser la fertilité des sols tropicaux.



Fig.19 : Photo présentant le dispositif expérimental (système à reflux) utilisé pour l'hydrolyse acide.

III-2-3-3- Mode opératoire

a) L'hydrolyse acide

La prise d'essai doit être ajustée en fonction de la teneur en azote des échantillons. On pèse 5g de sol, on introduit l'échantillon dans un ballon à fond rond de 250ml à col rodé standard et on ajoute 100 ml d'HCl 6N. On connecte le ballon à un réfrigérant de LIEBIG et on porte à ébullition à reflux modéré pendant 6 heures.

On laisse refroidir, puis on transfère dans des pots de centrifugation en rinçant le réfrigérant et le ballon à l'eau distillée. On centrifuge à 4000 tours/ min pendant 15 min et on recueille le centrifugât en fiole jaugée de 200ml. On lave deux ou trois fois le culot avec de l'eau distillée en recentrifugeant à chaque fois dans les mêmes conditions et en ajoutant les eaux de lavage à la fiole jaugée. On ajuste au trait de jauge et on

agite bien l'hydrolysate. On récupère le culot de centrifugation, et on sèche à 40°C.

b) Détermination de l'azote hydrolysable distillable NHd

Prélever une aliquote de l'hydrolysate dans un matras de distillation. Placer sous le condenseur de l'appareil à distiller, un b cher de 100ml contenant 10 ml de solution d'acide borique est placé sous le réfrigérant pour recueillir l'ammonium libéré. Avant d'envoyer la vapeur et de distiller, ajouter 20ml de soude en excès. Distiller jusqu'à un volume de 50ml. Titrer le contenu du b cher à l'acide sulfurique 0.05N.

L'Azote hydrolysable distillable est calculé suivant la formule suivante:

Soient:
$$N_{hd} = 0.28 V_0 V_1 (V_{01} P)^{-1} \text{ mg d'Azote par g de sol.}$$

P , V_0 , V_{01} , V_1 respectivement le poids de sol de la prise d'essai (g), le volume total hydrolysé, le volume de prise d'hydrolysate, le volume de la solution titrante (ml).

c) Détermination de l'azote hydrolysable total NH

L'azote hydrolysable total est obtenu par une minéralisation KJELDAHL sur une aliquote de l'hydrolysate. Pour une prise de l'hydrolysate V_{02} ml et V_2 ml de la solution titrante, nous aurons:

$$NH = 0.28 V_0 V_2 (V_{02} P)^{-1} \text{ mg d'Azote par g de sol.}$$

d) Détermination de l'azote hydrolysable non distillable NHnd

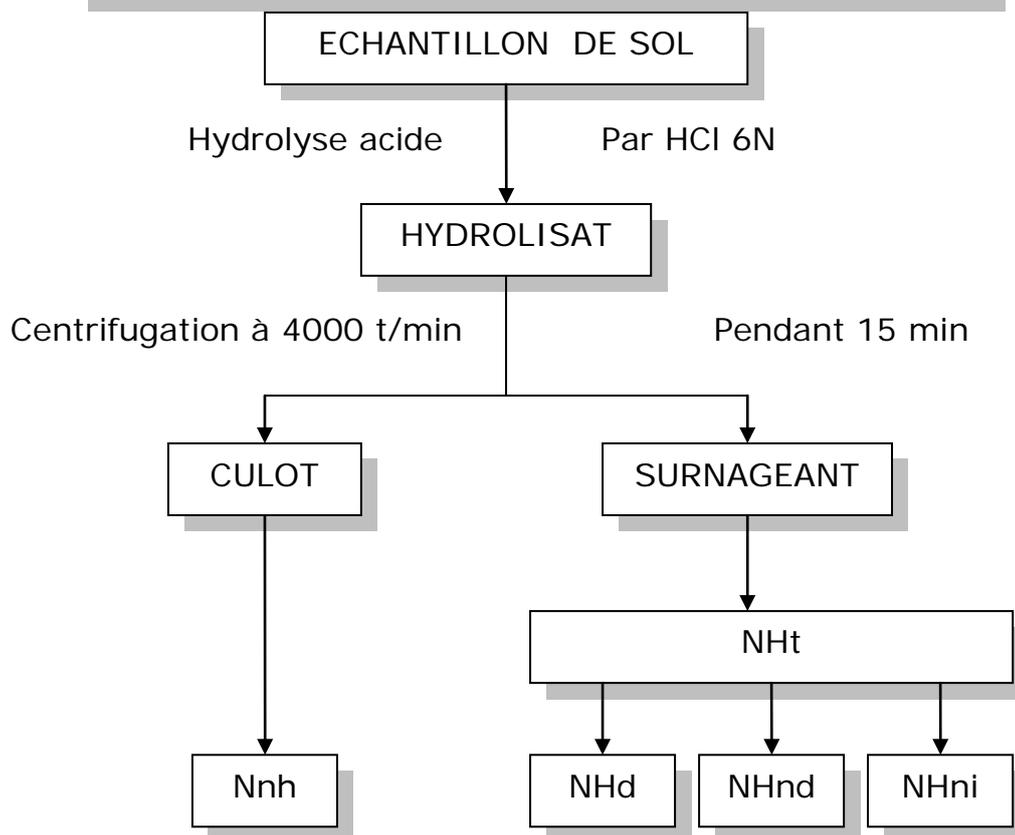
L'Azote hydrolysable non distillable est estimé par différence:

$$NH_{nd} = NH - N_{hd}. \text{ En mg d'Azote par g de sol.}$$

e) Détermination de l'azote non hydrolysable Nnh

On pratique une minéralisation KJELDAHL sur le culot d'hydrolyse séché à 40°C. Soient: P_0 , P_{01} , V_3 respectivement le poids du culot, le poids de l'aliquote, le volume de la solution titrante, nous aurons:

$$N_{nh} = 0.28 P_0 V_3 (P_{01} P)^{-1} \text{ mg d'Azote par g de sol.}$$



NHt: Fraction azotée hydrolysable total.

NHd: Fraction azotée hydrolysable par HCl distillable.

NHnd: Fraction azotée hydrolysable par HCl non distillable.

NHni: Fraction azotée hydrolysable par l'HCl non identifiée.

Nnh: Fraction azotée non hydrolysable par HCl (Pool d'Azote).

Fig.20 : Schéma représentant les différentes fractions de l'azote organique déterminées par hydrolyse acide.

**TROISIEME PARTIE
RESULTATS ET
DISCUSSION**

I- Distribution de l'azote dans les sols de la cédraie pure :

I-1- Effet de la Cédraie pure sur l'azote total dans les sols :

L'analyse des résultats de l'azote total notés dans les sols de la cédraie pure comparativement à ceux obtenus sous le système pelouse révèle, dans l'horizon supérieur A1, une teneur moins importante dans la cédraie pure alors que, les teneurs sont de l'ordre de 0,46% dans la cédraie contre 0,76% dans la pelouse (Effet rhizosphérique intense). (Voir tableau N° 06).

Dans les autres horizons, les teneurs en azote total sont plus importantes sous l'effet de la cédraie pure avec un taux de 0,34% d'NT dans l'horizon A2 de la clairière contre 0,39% dans la cédraie pure. (L'effet du couvert cèdre serait positif). (Voir tableau N° 06).

Une diminution notable de l'azote total est observée à partir de l'horizon B dans la pelouse, contrairement à la cédraie pure où l'azote total diminue de façon graduelle.

Dans cet horizon, les valeurs sont de l'ordre de 0,28% d'NT sous l'effet de la cédraie pure contre 0,12%. 0,18% contre 0,06% d'azote total est observée dans le « Bt » et 0,13% contre 0,03% dans le « C ». (Voir tableau N° 06).

Dans ce cadre, REVERSAT (1974) avait signalé les mêmes tendances concernant la distribution de l'azote total dans une forêt tropicale de Côte d'Ivoire. D'après cet auteur, La répartition de l'azote total ressemble à la répartition du carbone : teneur élevée en surface et une diminution rapide 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 A1. Ces teneurs diminuent dans l'horizon AB et un léger ventricule d'accumulation apparaît vers 60 cm.

Le taux élevé d'azote total dans l'horizon de surface du sol de la pelouse est probablement dû à l'effet rhizosphérique des graminées que dominant

dans la pelouse forestière. Cela a été élucidé et confirmé par RHAM, (1973).

Par ailleurs, les teneurs de l'azote total obtenues semblent être les plus importantes au cours de l'année. Etant donné que l'échantillonnage ainsi que les analyses ont été effectuées en automne, ce qui constitue le début de la saison pluvieuse dans nos régions. Comme l'avait aussi annoncé REVERSAT, la teneur de l'azote total varie beaucoup au cours de l'année, avec cependant l'observation d'un pic en début de la saison pluvieuse. Dans les zones tempérées, l'influence de l'humidité sur la teneur de l'azote a été également étudiée par HULPOI et ses collaborateurs (1970), ainsi que SABEY (1970).

Les teneurs de l'azote organique total des sols dans cette station sont plus importantes que celles dans la pelouse à partir de l'horizon A2, tandis que les teneurs de l'azote minéral total de la cédraie pure sont plus faibles par rapport à celles de la pelouse, et cela dans tous les horizons du sol.

En ce qui concerne l'NOT, une forte teneur est observée seulement au niveau de l'horizon A1 de la pelouse par rapport à celui de la cédraie pure (0,60% d'NOT dans la pelouse contre 0,40% dans la cédraie pure), une diminution brusque est notée dans les horizons de la pelouse avec les valeurs de 0,20% d'NOT contre 0,35% dans l'horizon A2, de 0,06% contre 0,26% dans l'horizon B, 0,03% contre 0,18% dans Bt et 0,00% contre 0,13% dans « C ». (L'effet peuplement se manifeste mieux dans les horizons sous-jacents des sols). (Voir tableau N° 06).

Ces résultats de l'azote organique total dans l'horizon holorganique rappellent quelque peu ceux obtenus par BOUNOUARA, (1996) qui en additionnant un engrais vert à un sol cultivé, avait obtenue des quantités d'azote organique relativement plus élevées par rapport à celles notées dans un sol seul ne recevant aucun apport de matière organique.

La différence dans les teneurs de l'azote organique notée dans les horizons de surface peut être due à un effet rhizosphérique intense exercé par les graminées constituant la pelouse forestière (témoin dans notre étude). Cet effet rhizosphérique est dû essentiellement aux exsudats

racinaires et leur rôle dans l'enrichissement du sol en substances facilement biodégradables par les microorganismes lesquels joueraient aussi un rôle important dans la réorganisation de l'azote dans les sols des pelouses.

Nos résultats font apparaître un effet manifeste des matières organiques apportées par les litières de cèdre sur le processus de la réorganisation, ce qui entraîne généralement un enrichissement du sol en azote grâce aux substrats azotés apportés que les aiguilles de cèdre libèrent au cours de leur dynamique dans les sols. Ceci conduit à la formation d'un pool azoté considérable dans le sol.

Nos résultats qui ont été déterminés en période automnale, peuvent être comme les teneurs les plus élevées durant l'année comme la montre BENSID, (1996) ; les quantités moyennes d'azote organique les plus élevées sont enregistrées pendant les saisons printanière et automnale ; ceci est conforme aux résultats obtenus par JANEL, (1977).

De son côté, LEMEE, (1967), avait signalé que le taux de minéralisation d'un élément, notamment l'azote dans le sol, et par conséquent le taux de réorganisation, varie considérablement avec la période de prélèvement de l'échantillon de sol.

Ainsi, les variations des quantités d'azote organique au cours de deux saisons, pourraient résulter des fluctuations des paramètres climatiques en particulier la température et l'humidité (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

Concernant l'azote minéral total, de fortes teneurs sont observées dans les deux premiers horizons de la station témoin comparativement à la cédraie pure (0,16% dans « A1 » et 0,14% dans « A2 » d'NMT dans la pelouse contre 0,06% et 0,04% dans la cédraie pure), nous observons par la suite une chute de ces teneurs à partir de l'horizon « B » (0,06% dans le « B » de la clairière contre 0,02% dans la cédraie pure, 0,03% dans « Bt » de la pelouse contre 0,00% dans la cédraie pure et 0,01% dans le « C » de la pelouse contre 0,00% dans la cédraie pure). (Voir tableau N° 06).

Dans son étude, REVERSAT, (1974) avait noté que la teneur en azote minéral est très faible en surface, et que sa répartition en profondeur varie selon la saison ; il a constaté que les valeurs sont faibles plus en saison pluvieuse dans les horizons profonds.

Ces résultats sont en concordance avec les nôtres l'azote minéral, où les teneurs sont faibles en surface et en profondeur, surtout que la saison de prélèvement et d'analyse de nos échantillons coïncide avec la saison pluvieuse.

JENNY (1960) avait noté 4 à 5 fois plus d'azote dans les sols tropicaux que dans les sols tempérés, et les valeurs obtenues sont supérieures à celles que nous avons obtenues à la même profondeur.

Contrairement à cela, RHAM (1971), avait remarqué que les teneurs en l'azote minéral dans les sols tropicaux humides ressemblent beaucoup à celles obtenues dans les Mull du climat tempéré.

D'après cet auteur, la présence d'arbres, contrairement au milieu herbacé, exerce un effet positif sur la minéralisation de l'azote et sur le taux d'azote minéral dans les sols.

Du point de vue statistique, l'emploi du test de Newman et Keuls (au seuil de 5%), fait ressortir un effet horizon positif sur la distribution de l'azote total ; c'est-à-dire il y a une différence entre les horizons à part les horizons "B" et "Bt" qui appartiennent au même groupe, et ce pour toutes les stations étudiées. Ceci peut être dû à la nature minérale des deux horizons. Ce même test ne fait pas ressortir un effet du facteur « type de couverture forestière » dans les conditions expérimentales adoptées.

Pour l'azote minéral total, il n'est pas constaté une différence significative que ce soit pour les horizons du même profil ou pour les différentes stations ; quand on utilise le même test, on observe que la cédraie pure et le témoin appartiennent à deux groupes différents. Ceci peut être dû à l'effet rhizosphérique au niveau de la surface de la pelouse, et à l'effet rhizosphérique et l'effet litière même dans les horizons les plus profonds du sol de la cédraie pure.

L'analyse statistique montre aussi que l'azote organique total varie au sein d'un même profil c'est-à-dire entre les horizons de la même station ; les deux horizons B et Bt appartiennent au même groupe. Ceci peut être dû à la nature minérale des deux horizons. La différence entre la cédraie pure et le témoin en matière d'azote organique total n'est toutefois pas significative.

Tableau N° 06 : Résultats des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie pure.

		Horizons	NT%	NMT%	NOT%
Clairière		A1	0,76	0,16	0,60
		A2	0,34	0,14	0,20
		B	0,12	0,06	0,06
		Bt	0,06	0,03	0,03
		C	0,03	0,01	0,02
Cédraie-pure		A1	0,46	0,06	0,40
		A2	0,39	0,04	0,35
		B	0,28	0,02	0,26
		Bt	0,18	0,00	0,18
		C	0,13	0,00	0,13

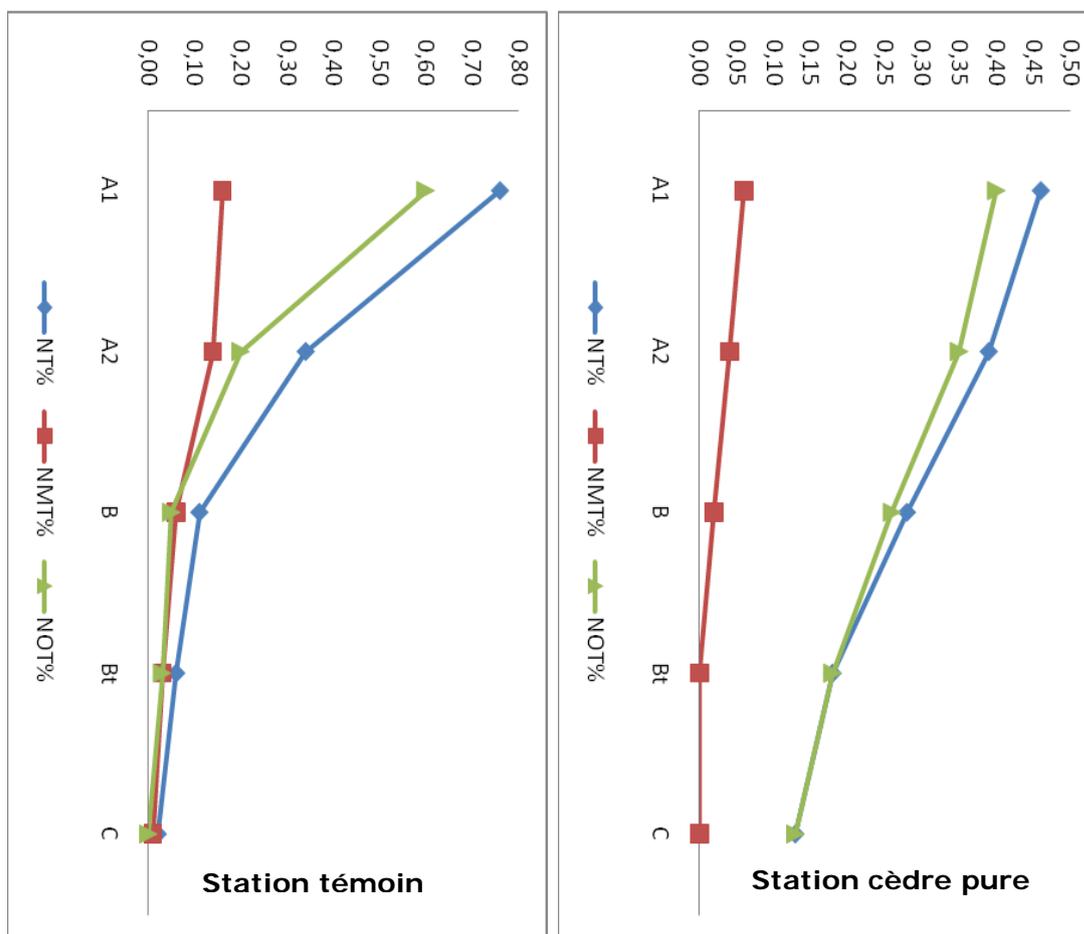


Fig.21 : Distribution des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie pure.

I-2- Effet de la cédraie pure sur la distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols :

L'analyse des teneurs des fractions de l'azote minérale enregistrées dans les différentes stations, représentées sous forme de courbes, révèle sur le plan quantitatif, et dans les conditions analytiques adoptées, une différence notable entre l'azote nitrique et l'azote ammoniacal ; les quantités de l'azote nitrique sont généralement plus importantes que les quantités de l'azote ammoniacal dans les sols.

Dans les sols de la cédraie pure, nous observons de faibles teneurs d'azote nitrique par rapport au témoin que ce soit pour les horizons supérieurs (0.02 % contre 0.10 % dans l'horizon « A1 », et 0.02% contre 0.09% dans l'horizon « A2 ») ou pour les horizons inférieurs (0,01% contre 0,04% dans le « B », 0,00% contre 0,02% dans le « Bt » et 0,00% contre 0,01% dans le « C »). (Voir tableau N° 07).

Parallèlement, nous remarquons des teneurs d'azote ammoniacal moins importantes dans la cédraie pure par rapport au témoin mais avec une différence moins importante que pour l'azote nitrique ; les valeurs notées sont de 0.04 % dans la cédraie pure contre 0.06 % dans la clairière pour l'horizon « A1 », de 0.02% dans la cédraie pure contre 0.05% la station témoin pour l'horizon « A2 ». Nous avons 0,01% contre 0,02% dans le « B », 0,00% contre 0,01% dans le « Bt » et 0,00% partout dans le « C ». Il est à noter que l'azote ammoniacal dosé dans l'horizon « A1 » de la cédraie pure est légèrement supérieur à l'azote nitrique. (Voir tableau N° 07).

Contrairement à nos résultats qui montrent des teneurs d'azote nitrique plus importantes que l'azote ammoniacal, REVERSAT, (1974) avait remarqué dans les sols de la forêt tropicale humide que l'azote ammoniacal se trouve principalement dans les trois premiers centimètres du sol ; l'azote nitrique, moins abondant dans l'horizon 0-3 cm que l'azote ammoniacal, cet azote diminue également dans les horizons inférieurs, mais relativement moins rapidement. Cela est peut être dû aux fortes humidités qu'on observe dans les sols en période pluvieuse.

En profondeur, le même auteur a observé les mêmes tendances que les nôtres : l'ammonification est appréciable en profondeur, bien que plus faible qu'en surface, la nitrification est cependant importante dans les horizons supérieurs.

En outre, les mesures faites par CUNNINGHAM, (1962) et par RHAM, (1971) ont confirmé la faible minéralisation de l'azote dans les horizons de profondeur.

D'autre part, ceci peut être dû à des taux d'humidité très élevés, chose qu'a obtenue REVERSAT, (1974) au laboratoire. Ce dernier avait confirmé les résultats de MOUREAUX (1967) ; la nitrification est faible aux faibles et fortes humidités. Dans les zones tempérées, l'influence de l'humidité a été également étudiée (HULPOI et al., 1970 ; SABEY, 1969 in BOUNOUARA, 1996)

Aussi, le taux faible d'azote minéral peut être dû aussi à la dénitrification. Au laboratoire, la perte d'azote nitrique après 24h est de 85 à 90% dans les sols les plus humides. Parallèlement, il est noté une augmentation de l'azote ammoniacal due à l'absence de nitrification plus la libération d' NH_4 en conditions anaérobies des horizons profonds. (REVERSAT, 1974).

Sur le plan statistique, l'analyse de l'azote nitrique montre qu'au seuil de 5%, le test de Newman et Keuls est plus significatif pour le facteur couverture végétale que pour le facteur horizon ; la clairière et la cédraie pure appartiennent à deux groupes différents significativement. Ainsi, il ressort que trois groupes d'horizons ; l'horizon « A1 » et « A2 » dans un groupe, le « B » et le « Bt » dans un deuxième groupe intermédiaire et le « C » dans un troisième groupe.

Pour ce qui est de l'azote ammoniacal, le test de Newman et Keuls est significatif pour les deux facteurs (station et horizon). La clairière est significativement différente de la cédraie pure ; ils appartiennent à deux groupes différents. Il en résulte aussi quatre groupes d'horizons ; un groupe pour chaque horizon et un groupe commun pour les horizons « Bt » et « C ».

Tableau N° 07 : Résultats des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie pure.

		Horizons	NO3%	NH4%
Clairière		A1	0,10	0,06
		A2	0,09	0,05
		B	0,04	0,02
		Bt	0,02	0,01
		C	0,01	0,00
Cédraie-pure		A1	0,02	0,04
		A2	0,02	0,02
		B	0,01	0,01
		Bt	0,00	0,00
		C	0,00	0,00

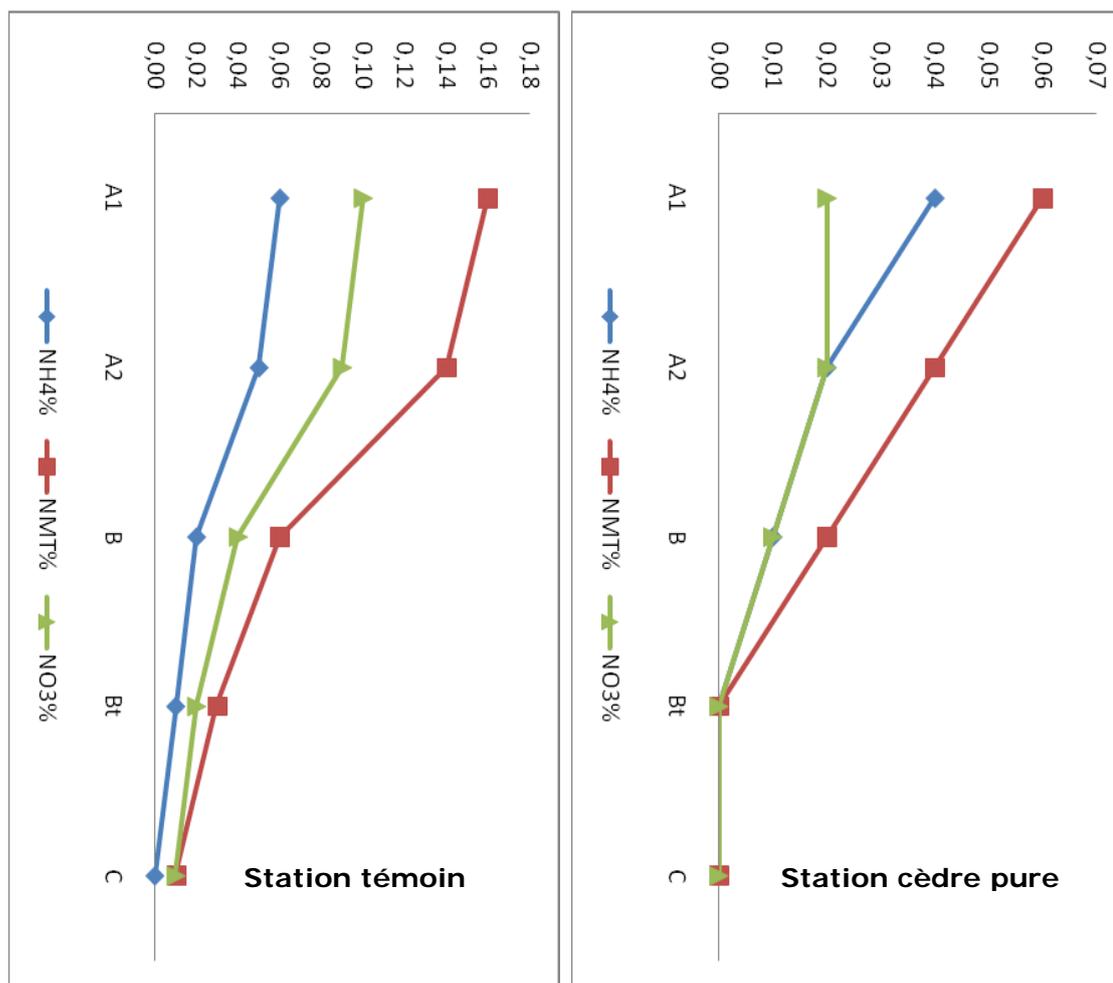


Fig.22 : Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie pure.

I-3- Effet de la cédraie pure sur la distribution des fractions de l'azote organique dans les sols :

En comparant les résultats enregistrés dans la cédraie pure avec ceux de la pelouse, nous pouvons formuler les remarques suivantes :

Dans la cédraie pure, l'azote hydrolysable distillable est beaucoup plus important que l'azote hydrolysable non distillable et ce dans tous les horizons du sol. Ceci est aussi valable dans la pelouse. (Voir tableau N° 08).

Cette fraction est essentiellement constituée de composés ammoniacaux dont l'hydrolysate provient des sels d'ammonium, d'une partie des amino-acides et des amides et probablement des complexes lignine-ammoniacale. (MANGENOT et TOUTAIN., 1980).

Nos résultats sont conformes avec les résultats de BOUNOUARA, (1996) qui ont révélé d'une manière générale que les proportions d'azote organique les plus élevées sont sous la forme d'azote hydrolysable distillable.

En comparaison avec le témoin (la pelouse), l'azote hydrolysable distillable de la cédraie pure est moins important seulement dans le « A1 », tandis qu'à partir de « A2 », l'NHD est beaucoup plus important dans la cédraie pure. (Voir tableau N° 08).

Dans ce même cadre, BENSID, (1996), en étudiant la dynamique de l'azote dans deux stations à savoir une Chênaie et une Pineraie notait que sous le Chêne vert, les microflore telluriques, exercent une intense activité réorganisatrice, alors que sous le Pin d'Alep, l'activité microbienne est relativement moins importante.

Au plan bioécologique, cette différence d'azote organique des sols sous deux couverts végétaux est due particulièrement à la nature « acidifiante » des litières provenant du couvert constitué de résineux (cèdre pure).

En surface, le phénomène s'inverse, le taux de l'azote hydrolysable est plus important dans la pelouse ; ceci est sûrement dû à l'effet des

exsudats racinaires provenant du couvert constitué de graminées (pelouse forestière). (Voir tableau N° 08).

Les retombés biologiques des résineux contiennent d'après DOMMERGUES et MANGENOT, (1970) des substances fortement inhibitrices vis-à-vis de la microflore bactérienne immobilisatrice de l'azote.

Par ailleurs, l'influence défavorable des litières acidifiantes sur les microflores des sols telle qu'elle fût noté par BAUZON, et al.,(1969), ne se fait pas d'une manière exclusive sur la microflore minéralisatrice mais aussi sur la microflore réorganisatrice de l'azote.

En outre, la richesse des litières en produits tannants difficilement biodégradables (lignine et tannins) des litières forestières explique, en partie, la difficulté rencontrée par les microorganismes dans la minéralisation de la matière organique, et c'est plutôt le processus d'immobilisation qui l'emporte (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

Ainsi, les travaux de GALLALI, (1972) et VONG et al.,(1990), lesquels montrèrent l'abondance des sucres aminés qui libèrent l' NH_4^+ selon un processus de désamination partielle au cours de l'hydrolyse acide.

La même remarque est notée pour l' NH_4^+ à l'exception de l'horizon « Bt » où cette forme d'azote est légèrement moins important dans le sol de la cédraie pure. (Voir tableau N° 08).

Cette fraction est constituée essentiellement d'acides aminés d'origine microbienne ou issue de la décomposition des substrats organiques (protéines, peptides, amides, amines). Les autres formes non distillables correspondent aux hexo-amines et aux amino-sucres qui proviennent des amino- polysaccharides. D'autres travaux ont montré que les sucres aminés dans le sol sont constitués des glucosamines et de galacto-amines (BREMNER in CHELOUFI, 1991). Cette fraction représente le siège biologique où s'établissent les processus d'organisation et de reminéralisation.

Les teneurs en azote hydrolysable non distillable sont inférieurs aux teneurs de l'azote hydrolysable distillable (Voir tableau N° 08), ceci peut être en rapport avec la désamination partielle des sucres aminés et des

amino- acides lesquels engendrent de l'ammoniac au cours de l'hydrolyse acide. (VONG et al., 1990).

Cette élévation de la quantité des formes hydrolysables dans les sols de la cédraie pure comparativement au témoin (à l'exception de l'horizon A1), est due à la richesse des matières organiques arrivant à ces sols en azote ammoniacal ; celui-ci fut dans les biomolécules aminées (sucres- aminés, acides- aminés) au cours de l'hydrolyse acide.

D'après JAQUIN et al., (1992), la prédominance de l'azote protéique et glucidique est due essentiellement à leur origine microbienne et elle représente le siège biologique le plus actif de la matière organique.

Pour la fraction azote non hydrolysable, nous remarquons au niveau des deux horizons « A1 et A2 », des valeurs proches dans les deux stations; 0,14% et 0,09% dans le témoin contre 0,13% et 0,10% dans la cédraie pure. (Voir tableau N° 08).

A partir de l'horizon « B », les valeurs de l'NNH du témoin chutent par rapport à la cédraie pure avec les valeurs suivantes: 0,02%, 0,01% dans « Bt » et 0,00% dans « C » du témoin contre 0,05%, 0,04% et 0,02% dans le sol de la cédraie pure. (Voir tableau N° 08).

Cette fraction correspond à l'azote hétérocyclique résistant à l'hydrolyse acide. Elle représente de faibles taux comparativement à la forme hydrolysable, et ce conformément aux travaux de AKROUM, (1985), et BOUNOUARA (1996).

D'après BARRIUSO et ses collaborateurs (1990), ce sont les formations colloïdales organo-minérales qui semblent contenir les constituants les plus condensés et induisent la formation de complexes stables ; ceci se traduit par une augmentation de l'azote non hydrolysable. Ces chercheurs signalèrent qu'un taux de 10 à 30% de l'azote environ n'est pas hydrolysable.

Nos résultats sont aussi en concordance avec ceux de SHNITZER, (1981) qui avait montré que l'azote organique hydrolysable total présente plus de 80% de l'azote total.

Sur le plan statistique, le test de Newman et Keuls pour l'azote hydrolysable distillable n'est significatif que pour le facteur horizon, il n'y a pas une différence statistiquement significative entre les teneurs en l'azote hydrolysable distillable dans le sol de la cédraie pure et dans le sol de la pelouse (témoin).

Contrairement à l'NHD, le test effectué pour l'azote hydrolysable non distillable est significatif pour les deux facteurs ; horizon et station. Il y a une différence statistiquement significative entre l'NHND des différents horizons étudiés, avec cinq groupes homogènes, cependant, il n'y a pas de différence significative entre la teneur de cette forme d'azote entre la clairière et la cédraie pure. L'analyse statistique de l'azote non hydrolysable nous révèle que le test de Newman et Keuls est significatif pour les deux facteurs ; station et horizon. Ainsi, la pelouse (témoin) et la Cédraie pure sont dans deux groupes différents.

Tableau N° 08 : Résultats des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie pure.

	Horizons	NHD%	NHND%	NNH%
Clairière	A1	0,21	0,05	0,34
	A2	0,08	0,03	0,09
	B	0,01	0,02	0,03
	Bt	0,00	0,01	0,02
	C	0,00	0,01	0,01
Cédraie-pure	A1	0,19	0,08	0,13
	A2	0,18	0,07	0,10
	B	0,17	0,04	0,05
	Bt	0,13	0,01	0,04
	C	0,10	0,01	0,02

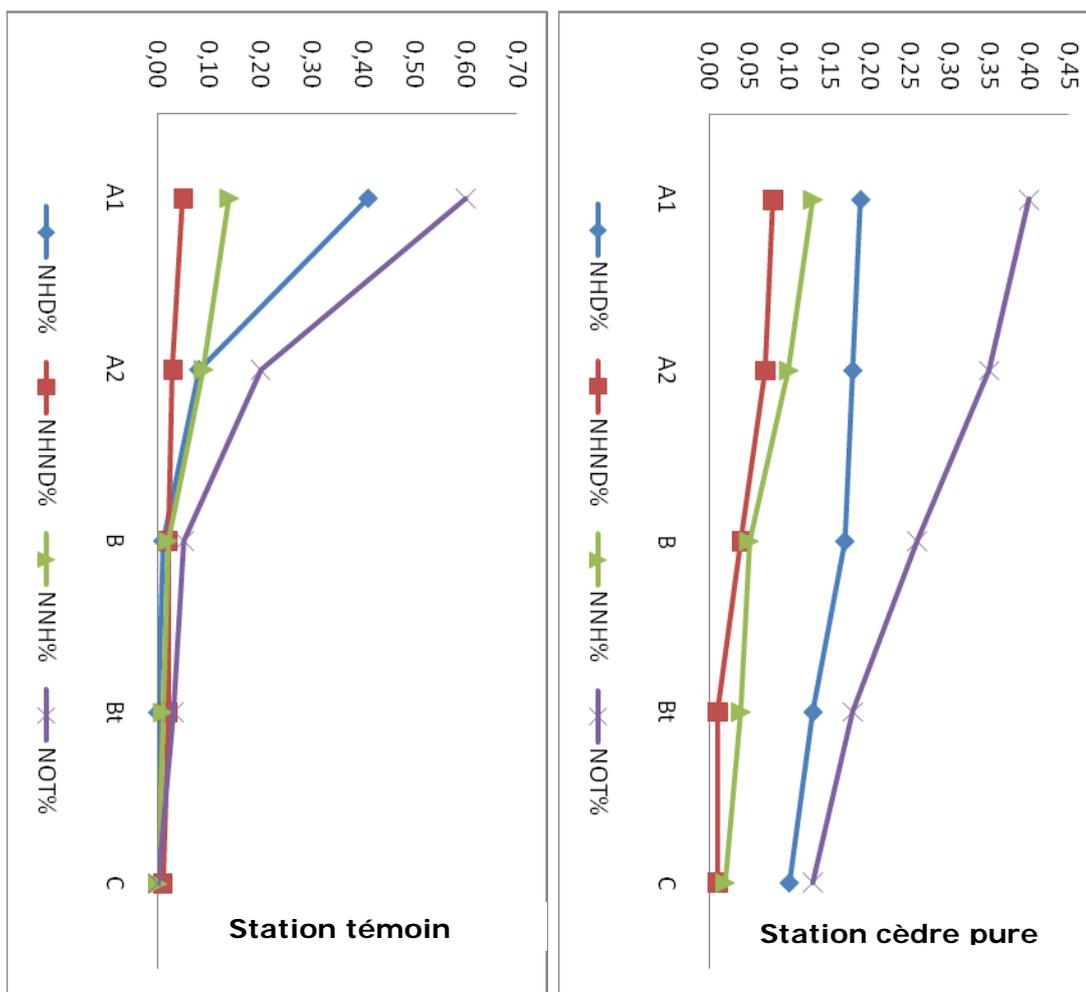


Fig.23: Distribution des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie pure.

II - Effet de la cédraie- chénaie sur la distribution de l'azote dans les sols :

II-1- Distribution de l'azote total dans les sols de la cédraie- chénaie :

A l'exception de l'horizon « A1 », les teneurs des trois formes d'azote total dans la cédraie- chénaie (azote total, l'azote minéral total et l'azote organique total) sont plus importantes que celles enregistrées dans le témoin (pelouse). Dans l'horizon « A1 » nous remarquons que les teneurs des trois formes d'azote sont proches de celles enregistrées dans le même horizon de la pelouse, elles sont de l'ordre de 0,70% contre 0,76% d'azote total, 0,14% contre 0,16% d'azote minéral total, et 0,56% contre 0,60% d'azote organique total. L'horizon « A2 » est absent dans le profil de la station cédraie- chénaie. (Voir tableau N° 09).

Pour l'azote total, la teneur diminue graduellement dans la cédraie- chénaie, tandis qu'elle diminue brutalement dans la pelouse à partir de l'horizon « B ». De ce fait, les valeurs de l'azote total dans la cédraie- chénaie sont nettement plus élevées à partir de cet horizon « B » par rapport à la pelouse; 0,46% contre 0,76% dans l'horizon « A1 », 0,35% contre 0,11% dans l'horizon « B », 0,18% contre 0,06% dans l'horizon « Bt » et 0,06% contre 0,02% dans l'horizon « C ». (Voir tableau N° 09).

Comme l'avait signalé REVERSAT, (1974) en étudiant l'azote des sols d'une forêt ombrophile de Côte d'Ivoire, la répartition de l'azote total ressemble à la répartition du carbone : teneur élevée en surface, et diminution rapide dans les horizons inférieurs. Vers 30 à 40 cm les valeurs sont peu différentes. Ainsi, l'horizon de 0 à 10 cm représente plus de la moitié de l'azote total dans tout le profil.

Dans un sol ferrallitique du Sud-Benin, sous végétation naturelle forestière, la teneur de l'azote dans l'horizon de surface A1 est élevée, la teneur diminue dans l'horizon AB et un léger ventricule d'accumulation apparaît vers 60 cm. Ceci traduit une bonne décomposition de la matière végétale provenant de la litière et du système racinaire. (DJEGUI et al., 1992).

L'azote minéral total de la cédraie- chénaie est plus important seulement au niveau de l'horizon « B » par rapport au témoin, il est en quantités égales dans le « Bt » des deux stations et moins important dans les autres horizons. Cependant, l'azote organique total est beaucoup plus important dans la cédraie-chénaie par rapport au témoin le long du profil à l'exception de l'horizon « A1 ». (Voir tableau N° 09).

Le taux de l'azote minéral total dans l'horizon « A1 » est proche dans les deux stations, (0.16% d'azote minéral total dans la clairière contre 0,14% dans la cédraie- chénaie. Dans l'horizon « B » c'est la cédraie- chénaie qui présente un taux plus élevé avec 0.06% d'azote minéral dans la clairière contre 0.07% dans la cédraie- chénaie, 0.03% dans les deu pour l'horizon « Bt » et 0.01% dans la clairière contre 0,00% dans la cédraie- chénaie pour l'horizon « C ». (Voir tableau N° 09).

Par ailleurs, la teneur du sol en azote minéral dépend de la quantité d'azote minéralisé, de son utilisation par la microflore et la végétation et des quantités lessivées. Cette teneur est élevée en début de saison pluvieuse lorsque la végétation herbacée est encore absente. Dès l'apparition de celle-ci, la teneur en azote minéral diminue rapidement. (Voir tableau N° 09).

Nos résultats semblent similaires avec ceux de REVERSAT, (1974) L'azote minéral est très faible, sa répartition dans les horizons superficiels est faible et très faible ou même négligeable dans les horizons profonds ; surtout en saison pluvieuse en forêt ombrophile de Côte d'Ivoire.

D'autre part, BEZZALA, (2002) avait noté une réorganisation de l'azote minéral sous système mixte (Cèdre– Chêne vert) c'est-à-dire des taux faibles d'azote minéral par rapport à l'azote organique. Cette réorganisation est due selon ce même auteur, à l'assimilation de l'azote minéral par les microorganismes pour leurs propres besoins et son immobilisation à l'intérieur de leurs corps.

Dans une savane sahélienne, REVERSAT avait observé une accumulation d'azote minéral relativement élevée, RHAM (1973) avait estimé que le cycle de l'azote se déroule presque uniquement au niveau de la

rhizosphère de graminées, le reste du sol n'y participe pas. Ceci est en concordance avec nos résultats au niveau de la pelouse forestière (témoin).

Contrairement à cela, BENSID, (1996) avait signalé de fortes teneurs d'azote minéral au niveau des sols surmontés d'une litière de chêne vert par rapport à ceux qui en sont dépourvues. L'effet litière apparaît très net et explique la grande quantité d'azote fournie par les feuilles de litière provenant du chêne vert à l'horizon sous jacent « A1 ».

Aussi la richesse relative des feuilles de chêne vert en azote, en polysaccharides et autres aliments énergétiques stimulateurs de la biodégradation de la matière organique des sols, est en partie responsable des teneurs d'azote minéral enregistrés dans les sols sous végétation mixte.

Les teneurs en l'azote organique total du premier horizon « A1 » des deux stations sont proches (0.60% pour la clairière contre 0.56% pour la cédraie- chénaie). Ces teneurs diminuent lentement dans la cédraie- chénaie, alors qu'elles diminuent rapidement dans la pelouse, avec des valeurs beaucoup plus élevées à partir de l'horizon « B » dans la cédraie- chénaie par rapport à la clairière 0,28% contre 0,05% dans l'horizon « B », 0,15% contre 0,03% dans l'horizon « Bt » et 0,06% contre 0,00% dans l'horizon « C ». (Voir tableau N° 09).

Dans les sols développés sous Chêne Vert, BENSID (1996) avait noté que les microflore telluriques responsables de l'immobilisation ou de la réorganisation de l'azote organique exercent une intense activité réorganisatrice.

Aussi, BEZZALA (2002) avait noté L'effet de la mixité des peuplements sur la réorganisation de l'azote minéral. Ce phénomène de réorganisation est dû au rapport C/N élevé qui favorise généralement l'immobilisation comme l'avait constaté NOMMIK (in DOMMERGUEZ et MANGENOT, 1970).

Nos résultats sont aussi en concordance avec ceux obtenus par BOUNOUARA, (1996), qui a enregistré un effet engrais vert très important vis-à-vis du processus de réorganisation.

En terme bioécologique, la nature améliorante des litières des espèces feuillus tel que le chêne vert, qui est due principalement à leur richesse en substances hydrosolubles (sucres réducteurs, acides aminés), semblent exercer un effet positif marqué sur l'ambiance édaphique. Ceci stimulerait les germes responsables du processus de réorganisation de l'azote organique. (MANGENOT et TOUTAIN, 1980).

En comparant les deux formes d'azote total de la cédraie- chénaie entre elles, nous pouvons dire que l'azote organique total est beaucoup plus important que l'azote minéral total. (Voir tableau N° 09).

Sur le plan statistique, nous notons une différence significative entre les teneurs de l'azote total des différents horizons dans la cédraie- chénaie. (Le B et le Bt ne sont pas différents statistiquement). D'autre part, la cédraie- chénaie appartient à un groupe différent de celui du témoin ; l'azote total dans la cédraie chénaie est statistiquement différent de celui du témoin. Cela peut s'expliquer par l'effet exercé par la litière améliorante du chêne vert sur les quantités d'azote.

Cependant, l'azote minéral total de la cédraie- chénaie n'est pas différent de celui de la pelouse (témoin), ils appartiennent au même groupe statistique. L'azote minéral total est significativement différent entre les horizons sauf le Bt et le C qui ne sont pas différents statistiquement.

Par ailleurs, le test de Newman et Keuls pour l'azote organique total n'est pas significatif entre la cédraie- chénaie et le témoin. Le facteur horizon est significatif dans cette station, à l'exception de l'horizon B et Bt qui ne sont pas différents significativement.

Tableau N° 09 : Résultats des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie- Chênaie.

		Horizons	NT%	NMT%	NOT%
Clairière		A1	0,76	0,16	0,60
		A2	0,34	0,14	0,20
		B	0,12	0,06	0,06
		Bt	0,06	0,03	0,03
		C	0,03	0,01	0,02
Cédraie- Chênaie		A1	0,70	0,14	0,56
		B	0,35	0,07	0,28
		Bt	0,18	0,03	0,15
		C	0,06	0,00	0,06

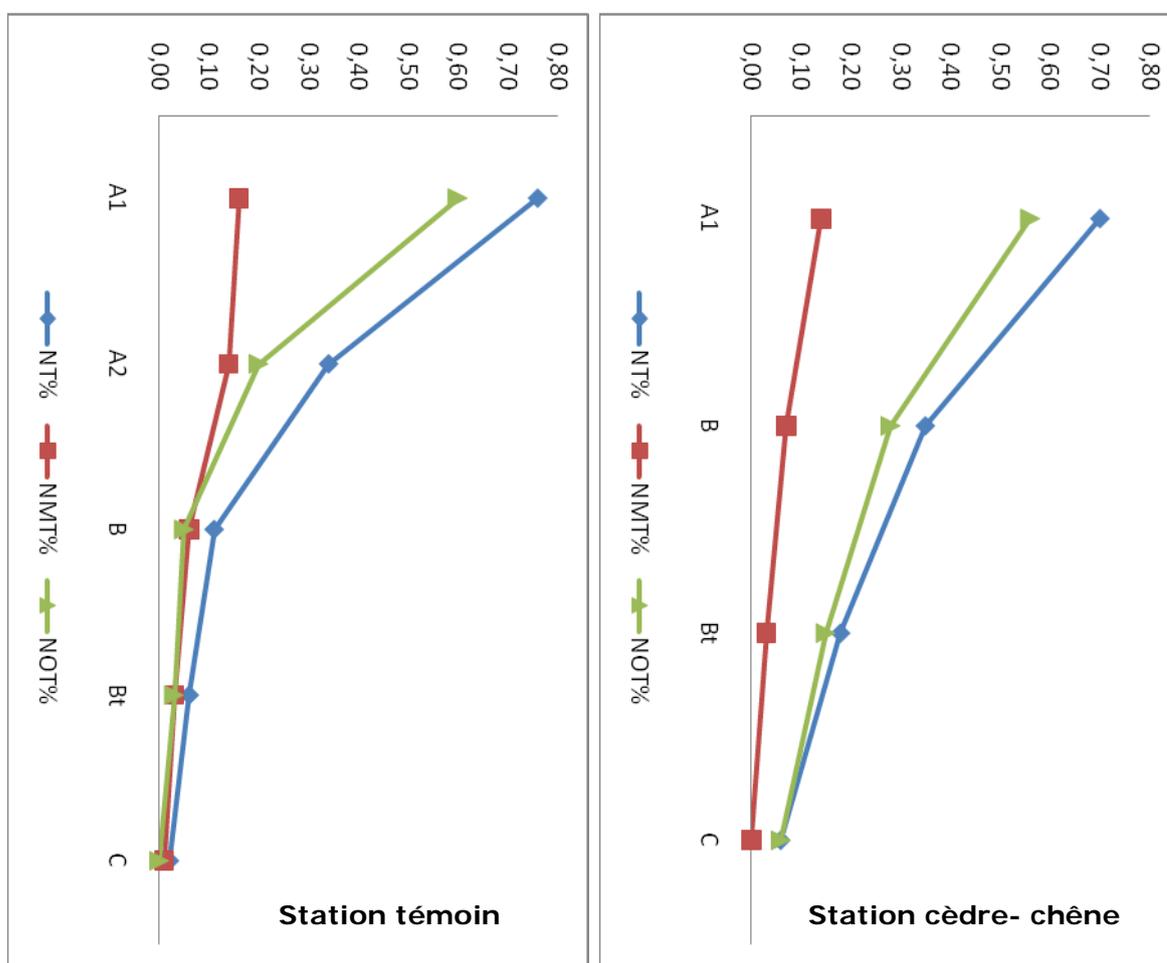


Fig.24: Distribution des fractions de l'azote total dans les sols de la cédraie- chênaie.

II-2- Effet de la cédraie- chénaie sur la distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols:

Concernant la station cédraie- chénaie, nous enregistrons un taux égal des deux fractions d'azote minéral (nitrique et ammoniacal) dans l'horizon « A1 » de l'ordre de 0,07%, le taux est proche dans l'horizon « A2 » avec 0,04% d'NO₃ et 0,03% d'NH₄. Le taux d'azote est nul pour la fraction ammoniacale dans l'horizon « Bt », cependant, il est de 0,03% pour la fraction nitrique.

Comparativement au témoin, la teneur de l'azote nitrique est moins importante dans l'horizon supérieur « A1 » de la cédraie-chénaie (0,09% contre 0,10%). L'horizon « A2 » est absent dans la station cédraie-chénaie, la teneur est la même dans l'horizon « B » des deux stations avec 0,04%, et est plus importante dans la cédraie-chénaie pour le « Bt » avec 0,03% contre 0,02% pour le témoin. L'azote nitrique est nul dans l'horizon « C » de la cédraie-chénaie et de l'ordre de 0,01% dans la station témoin.

Ces résultats sont comparable avec les résultats de REVERSAT, (1974) en forêt ombrophile de Côte d'Ivoire qui avait montré que l'azote nitrique est moins abondant dans l'horizon 0 à 3 cm que l'azote ammoniacal, mais il diminue dans les horizons inférieurs mais relativement moins rapidement. D'autre part, BEZZALA (2002), avait constaté une réorganisation importante de l'azote nitrique dans un système mixte (cèdre- chêne vert). Ceci est dû certainement au rapport C/N élevé qui favorise l'immobilisation au détriment de la minéralisation.

À l'opposé, la teneur de l'azote ammoniacal dans l'horizon « A1 » de la cédraie- chénaie est légèrement plus élevée que celle enregistrée dans la station témoin avec 0,07% contre 0,06%.

La même remarque est valable pour l'horizon « B », où nous avons enregistré 0,03% d'NH₄ dans la cédraie- chénaie contre 0,02% dans la pelouse ; la teneur est nulle pour le « Bt » de la cédraie-chénaie et de 0,01% dans la clairière et enfin, elle est nulle dans le « C » des deux stations.

La teneur relativement élevée en l'azote nitrique par rapport à l'azote ammoniacal sous l'effet des feuilles de chêne vert en mélange avec les aiguilles de cèdre de l'atlas, peut être due à l'apparition d'une nouvelle ambiance qui réunit tous les facteurs mésologiques (pH, température,...) et énergétiques qui induisent une activité biologique des microorganismes nitrificateurs, ainsi qu'un accroissement des groupes microbiens spécialisés dans la dégradation des formes organiques de l'azote (LAUDELAUT et LAMBER, 1982).

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par BOUNOUARA, (1996) qui en étudiant l'effet d'un engrais vert sur la minéralisation de l'azote, qui avait observé des teneurs d'azote ammoniacal plus faibles que l'azote nitrique. Ceci semble être dû aux caractéristiques de cette forme d'azote minéral ; notamment son état gazeux qui favorise sa volatilisation, l'oxydation microbienne rapide de $L'NH_4$ en nitrite et en nitrate, et enfin son immobilisation par les microflores qui préfèrent la forme ammoniacal de l'azote de la forme nitrique.

Nos résultats concordent aussi avec ceux de REVERSAT, (1974) qui a retrouvé que L'azote ammoniacal se trouve principalement dans les trois premiers centimètres du sol, ses quantités sont plus importantes que celles d'azote nitrique. Il diminue également dans les horizons inférieurs, mais relativement plus rapidement que l'azote nitrique.

Sous une couverture forestière constituée de feuillus (chêne vert), BENSID, (1996) avait observé des quantités d'azote ammoniacal minimales par rapport à celles de l'azote nitrique. La faible quantité d'azote ammoniacal est due d'après ce même auteur au fait que cette forme est utilisée préférentiellement à la forme nitrique par les microorganismes telluriques ; elle subit alors une réorganisation plus élevée que la forme nitrique. Ceci pourrait expliquer les faibles taux d'azote ammoniacal par rapport à l'azote nitrique dans les horizons inférieurs de la cédraie-chênaie.

La cédraie- chênaie est différente de la pelouse (témoin) en matière d' NO_3 d'une manière significative dans le test de Newman et Keuls au seuil de

5%. Ainsi, cette fraction de l'azote minéral forme trois groupes homogènes le long des profils étudiés, le groupe A qui regroupe l'horizon « A1 » et « A2 », le groupe AB qui regroupe les horizons « B et Bt », et le groupe B qui présente l'horizon « C » seul.

Contrairement à l' NO_3 , l' NH_4 n'est pas différent significativement entre la cédraie- chénaie et la pelouse, les deux stations appartiennent au même groupe dans le test de Newman et Keuls. L' NH_4 est significativement différent dans les différents horizons à part le Bt et le C.

Tableau N° 10 : Résultats des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie Chênaie.

	Horizons	NO3%	NH4%
Clairière	A1	0,10	0,06
	A2	0,09	0,05
	B	0,04	0,02
	Bt	0,02	0,01
	C	0,01	0,00
Cédraie- Chênaie	A1	0,07	0,07
	B	0,04	0,03
	Bt	0,03	0,00
	C	0,00	0,00

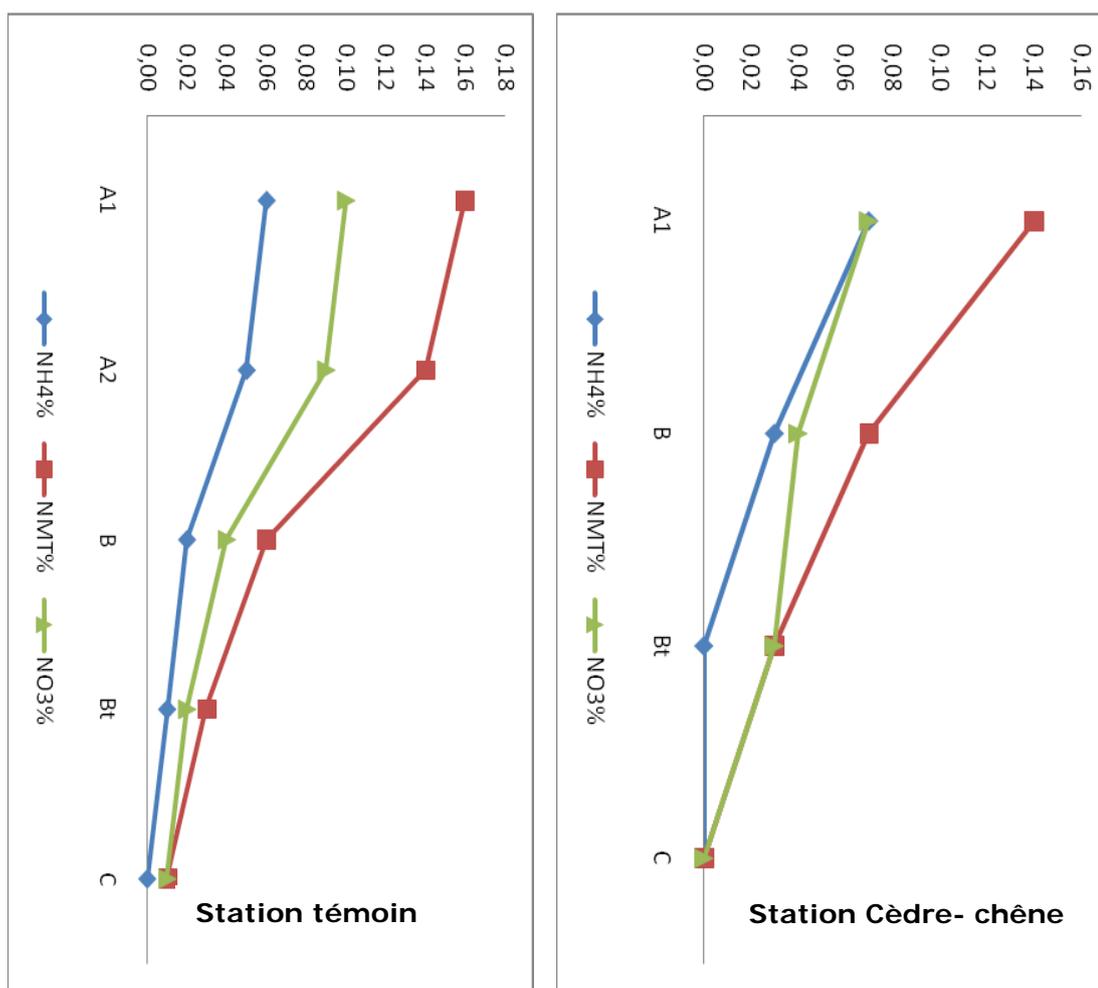


Fig.25 : Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie- chênaie.

II-3- Effet de la cédraie- chénaie sur la distribution des fractions de l'azote organique dans les sols:

Dans la cédraie- chénaie, nous notons une prédominance de la fraction NHD par rapport à la fraction NHND. Ceci a été constaté par BOUNOUARA (1996). (Voir tableau N°11).

Nous remarquons aussi, qu'à l'exception de la teneur de l'azote hydrolysable distillable dans l'horizon « A1 » qui est moins importante que celle enregistrée dans la clairière, les teneurs des deux fractions de l'azote hydrolysable dans la cédraie chénaie sont plus importantes que celles enregistrées dans le système témoin. (Voir tableau N°11).

L'azote organique hydrolysable distillable (NHD) provient d'après MANGENOT et TOUTAIN (1980) des sels d'ammonium, d'une partie des amino- acides et des amides, et probablement des complexes lignine-ammoniaque.

Cependant, l'azote hydrolysable non distillable (NHND) est constitué essentiellement d'acides-amino d'origine microbienne ou issus de la décomposition des substrats organiques (protéines, peptides, amides, amines). Les autres formes non distillables correspondent aux Hexo- amines et aux amino- sucres qui proviennent des amino- polysaccharides. D'autres travaux ont montré que les sucres aminés dans le sol sont constitués de glucosamines et de galacto- amines (BREMNER in CHELOUFI, 1991).

Aussi cette fraction de l'azote (NHND) peut être considérée comme le siège biologique des processus d'organisation et de minéralisation comme l'a rapporté CHELOUFI (1991).

Cette prédominance des formes hydrolysables de l'azote organique a été rapportée par BOUNOUARA (1996), et MERIDJA (2008), dans leurs travaux relatifs à l'effet d'un engrais vert sur les formes d'azote dans les sols.

Les taux élevés des formes hydrolysables de l'azote organique dans l'horizon superficiel de la pelouse (témoin) sont, vraisemblablement dus à un effet rhizosphérique exercé sur les microflore réorganisatrices de

l'azote. Dans ce contexte DARRAH (in DUCHAUFOR (1997)) a constaté que la composition du sol dans la rhizosphère est profondément modifiée : elle diffère par son pH, par l'abondance de la matière organique et par sa forte activité microbienne.

En terme bioécologique, le taux élevé d'azote organique hydrolysable des sols sous un couvert végétal mixte (cèdre chêne) en profondeur par rapport au témoin, est due particulièrement à la nature « améliorante » des litières provenant du Chêne vert.

Pour ce qui est de l'NHD le test de Newman et Keuls est significatif pour le facteur horizon, toutefois il n'est pas significatif pour le facteur station. Pour le facteur horizon, il y a une différence statistiquement significative entre l'NHD de l'horizon A1 et les autres horizons (il y a deux groupes homogènes).

A la différence de l'azote hydrolysable distillable, le test de Newman et Keuls établi pour l'azote hydrolysable non distillable est significatif pour les deux facteurs. Tous les horizons sont significativement différents en matière d'NHND (il y a cinq groupes homogènes). Le test est significatif pour le facteur station comme nous avons déjà dit, mais il n'y a pas de différence significative de l'NHND entre le témoin et la cédraie- chénaie.

Les différences observées entre les quantités d'azote hydrolysable distillable et les quantités d'azote hydrolysable non distillable ne peuvent être que le résultat d'une forte activité réorganisatrice des microflore telluriques des formes ammoniacales ; cette action des microflore est stimulée par l'apport carboné facilement minéralisable et cela a été observé par GUIRAUD et MOREL (1982).

Pour la fraction azote non hydrolysable, les teneurs dans la cédraie- chénaie sont tout le long du profil, plus importantes que celles du témoin, notant que le « A2 » est absent. Dans « A1 » nous avons 0,16% contre 0,14%, dans « B » ; 0,11% contre 0,02%, dans « Bt » ; 0,06% contre 0,01% et dans « C » 0,02% contre 0,00%. (Voir tableau N° 11).

Cette fraction correspond à l'azote hétérocyclique résistant à l'hydrolyse acide. D'après SCHNITZER (In BOUNOUARA (1996)), cette fraction azotée

non hydrolysable résulte, soit de la condensation de l'azote dans des structures phénoliques, ou sont des combinaisons organiques difficilement dégradables.

Nos résultats concordent avec ceux de BOUNOUARA (1996) ; qui a noté des quantités d' NNH plus élevées sous l'effet de l'engrais vert comparativement au témoin sans apport organique.

Ceci peut se traduire par un enrichissement du sol en composés azotés et protéiques et une augmentation du pool résistant à l'acidolyse.

D'après BARRIUSIO et al (1990), ce sont les formations colloïdales organo- minérales qui semblent contenir les constituants les plus condensés et induisant la formation de complexes stables. Ces mêmes chercheurs signalèrent qu'un taux de 10 à 30% de l'azote environ n'est pas hydrolysable, après une hydrolyse acide d'un sol brun humifère.

L'azote non hydrolysable caractérisé par le test de Newman et keuls est significatif pour les deux facteurs, la cédraie- chênaie et la clairière sont dans deux groupes statistiquement différents, les teneurs de cette fraction d'azote sont statistiquement différents tout le long du profil.

Au plan chimique, la litière mixte composée d'aiguilles de Cèdre ainsi que de feuilles de chêne vert, est constituée essentiellement d'azote organique labile et moyennement stable. Il se peut également que cette augmentation de l'azote soit liée à une plus grande protéosynthèse microbienne stimulée par une matière organique améliorante.

Tableau N° 11 : Résultats des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie- Chênaie.

	Horizons	NHD%	NHND%	NNH%
Clairière	A1	0,21	0,05	0,34
	A2	0,08	0,03	0,09
	B	0,01	0,02	0,03
	Bt	0,00	0,01	0,02
	C	0,00	0,01	0,01
Cédraie- Chênaie	A1	0,30	0,10	0,16
	B	0,11	0,06	0,11
	Bt	0,07	0,02	0,06
	C	0,03	0,01	0,02

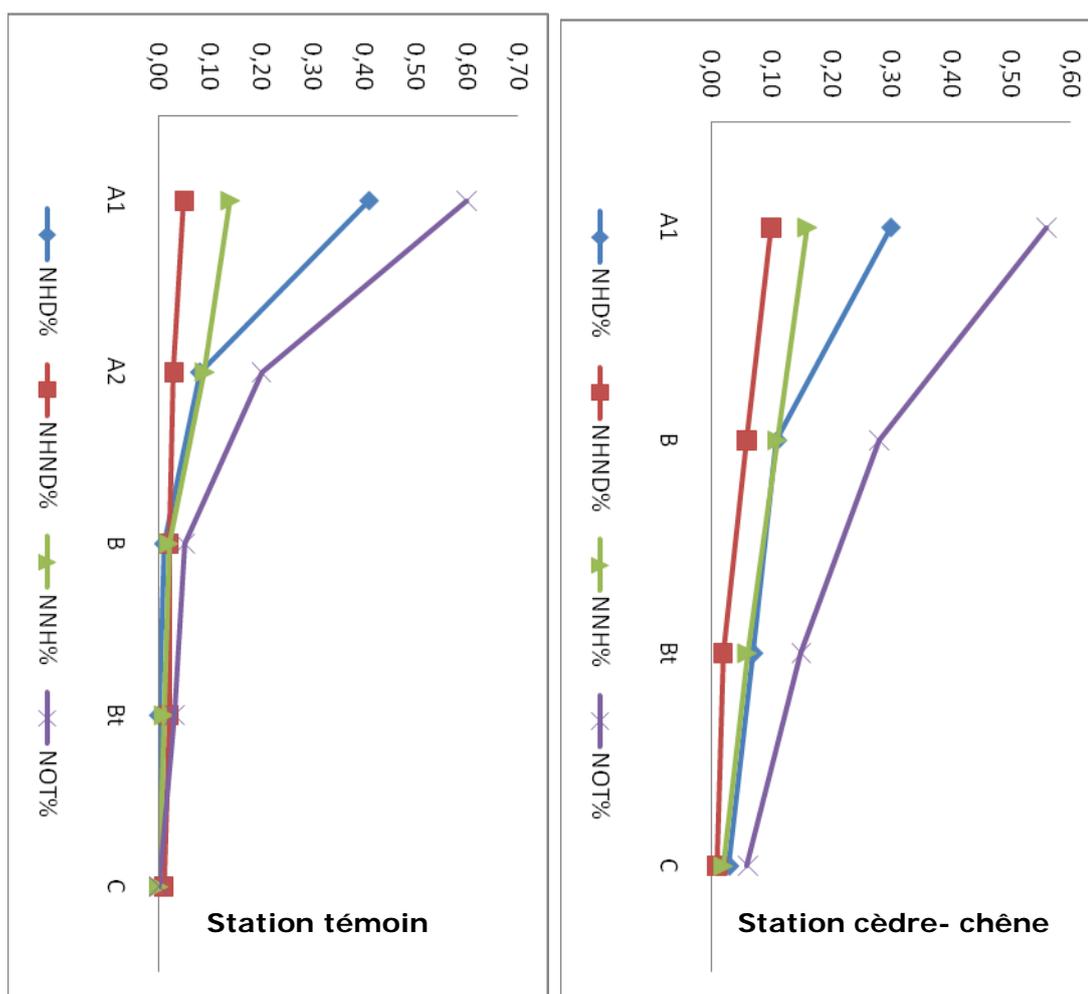


Fig.26 Effet de la couverture forestière de type cédraie- chênaie sur l'azote organique dans le sol.

III- Effet de la cédraie à thurifère sur la distribution de l'azote dans les sols:

III-1- Distribution de l'azote total dans les sols :

Dans les sols de la cédraie à Thurifère comparativement avec le témoin, il est noté que l'azote total est plus important à partir de l'horizon « B ». Cependant, l'azote minéral total est moins important dans tous les horizons du profil, et l'azote organique total est plus important tout au long des horizons à l'exception du « A1 ». (Voir tableau N° 12).

Ainsi, le taux d'azote total est estimé dans l'horizon « A1 » à 0.35% d'azote total pour la cédraie à thurifère contre 0.76% pour la pelouse. Dans l'horizon « A2 » comme dans l'horizon « A1 », la teneur en l'azote total est moins importante dans la cédraie à thurifère par rapport à la pelouse avec 0,23% contre 0,34%. (Voir tableau N° 12).

Une diminution graduelle de l'azote total s'observe au niveau de la cédraie à thurifère, cependant, une chute à partir de l'horizon « B » est enregistrée au niveau de la pelouse avec 0,21% contre 0,11% dans l'horizon « B », 0,16% contre 0,06% dans l'horizon « Bt » et 0,09% contre 0,02% dans l'horizon « C ». (Voir tableau N° 12).

Cette distribution de l'azote total a été auparavant observée par REVERSAT (1974) dans une forêt tropicale du Côte d'Ivoire. La répartition de l'azote total ressemble à la répartition du carbone : teneur élevée en surface et une diminution rapide dans les horizons inférieurs.

Ainsi, DJEGUI et al (1992) avait observé sous une végétation forestière naturelle, des teneurs en azote dans les horizons de surface A1 élevées. Les teneurs diminuent dans l'horizon AB et un léger ventricule d'accumulation apparaît vers 60 cm.

L'exception est faite pour les horizons supérieurs de la clairière ; où l'azote total présente des teneurs beaucoup plus importantes que celles dans la cédraie pure. (Voir tableau N° 12). Ceci est sans doute dû à l'effet rhizosphérique important exercé par les systèmes racinaires des graminées de la pelouse. L'effet de la couverture végétale sur l'azote a été élucidé par RHAM, (1973).

Les mêmes constatations ont été faites pour l'azote organique total. Une différence importante entre la teneur de l'azote organique total dans la cédraie à thurifère et la clairière au niveau de l'horizon « A1 », avec les valeurs 0.32% dans la cédraie à thurifère contre 0.60% dans la pelouse. Ensuite nous constatons une chute de la teneur de cette forme de l'azote à partir de l'horizon « B » de la clairière. Cependant, une graduelle diminution est observée au niveau de la cédraie à thurifère. A partir de l'horizon « A2 », les teneurs de l'azote organique total sont plus importantes dans les horizons de la cédraie à thurifère par rapport à celles de la clairière (avec 0,21% contre 0,20% pour l'horizon « A2 », 0,20% contre 0,05% pour le « B », 0,15% contre 0,03% pour le « Bt » et 0,09% contre 0,00% pour l'horizon « C »). (Voir tableau N° 12).

Ces résultats de l'azote organique total ressemblent quelques peu à ceux obtenus par BOUNOUARA, (1996). En additionnant un engrais vert à un sol cultivé, elle a noté des quantités d'azote organique relativement plus élevées et ce par rapport au sol seul, qui ne reçoit aucun apport de matière organique.

Ces résultats font apparaître l'effet des matières organiques apportées par les litières mixtes de cèdre et de Genévrier thurifère sur le processus de réorganisation, lesquelles entraînent un enrichissement du sol, dû aux substrats azotés apportés par les aiguilles de cèdre et les écaïlle du Genévrier. Ceci conduit à la formation d'un pool azoté considérable dans le sol.

Au contraire, en profondeur, la différence dans les teneurs de l'azote organique peut être due à l'effet rhizosphérique exercé par les systèmes racinaires des Cèdres et des thurifères. Cet effet rhizosphérique est dû essentiellement aux exsudats racinaires et leur rôle dans l'enrichissement du sol en substances facilement dégradables par les microorganismes responsables de la réorganisation de l'azote dans les sols.

Comparativement à l'azote organique total, les teneurs de l'azote minéral total sont très faibles. Ainsi, nous constatons que les teneurs de l'azote

minéral total de la cédraie à thurifère sont plus faibles que celles de la pelouse et ce au niveau de tous les horizons. (Voir tableau N° 12).

Parallèlement, REVERSAT, (1974) avait rapporté que la teneur en azote minéral en surface est très faible, et que sa répartition en profondeur varie selon la saison, et en particulier, les valeurs sont faibles en saison pluvieuse dans les horizons profonds.

Pour l'azote total, l'analyse statistique effectuée montre que le test de Newman et keuls au seuil de 5% est significatif entre les horizons de la cédraie à thurifère. Cependant, ce test n'est pas significatif pour le facteur station ; c'est-à-dire qu'il n'y a pas une différence significative entre les teneurs de l'azote total dans la cédraie à thurifère et le témoin. Ainsi pour l'azote organique total comme pour la cédraie pure, nous pouvons penser l'hypothèse que ceci est dû à la présence de fractions organiques peu mobiles qui rend les teneurs en azote semblables dans les deux stations.

Concernant, l'azote minéral total, le test est significatif pour les deux facteurs ; il y a une différence entre les horizons et entre le témoin et la cédraie à thurifère. Comme au paravent, ceci est probablement dû à l'effet rhizosphérique effectué par les deux types de végétation.

Tableau N° 12 : Résultats des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie à thurifère.

		Horizons	NT%	NMT%	NOT%
Clairière		A1	0,76	0,16	0,60
		A2	0,34	0,14	0,20
		B	0,12	0,06	0,06
		Bt	0,06	0,03	0,03
		C	0,03	0,01	0,02
Cédraie à thurifère		A1	0,35	0,03	0,32
		A2	0,23	0,02	0,21
		B	0,21	0,01	0,20
		Bt	0,16	0,01	0,15
		C	0,09	0,00	0,09

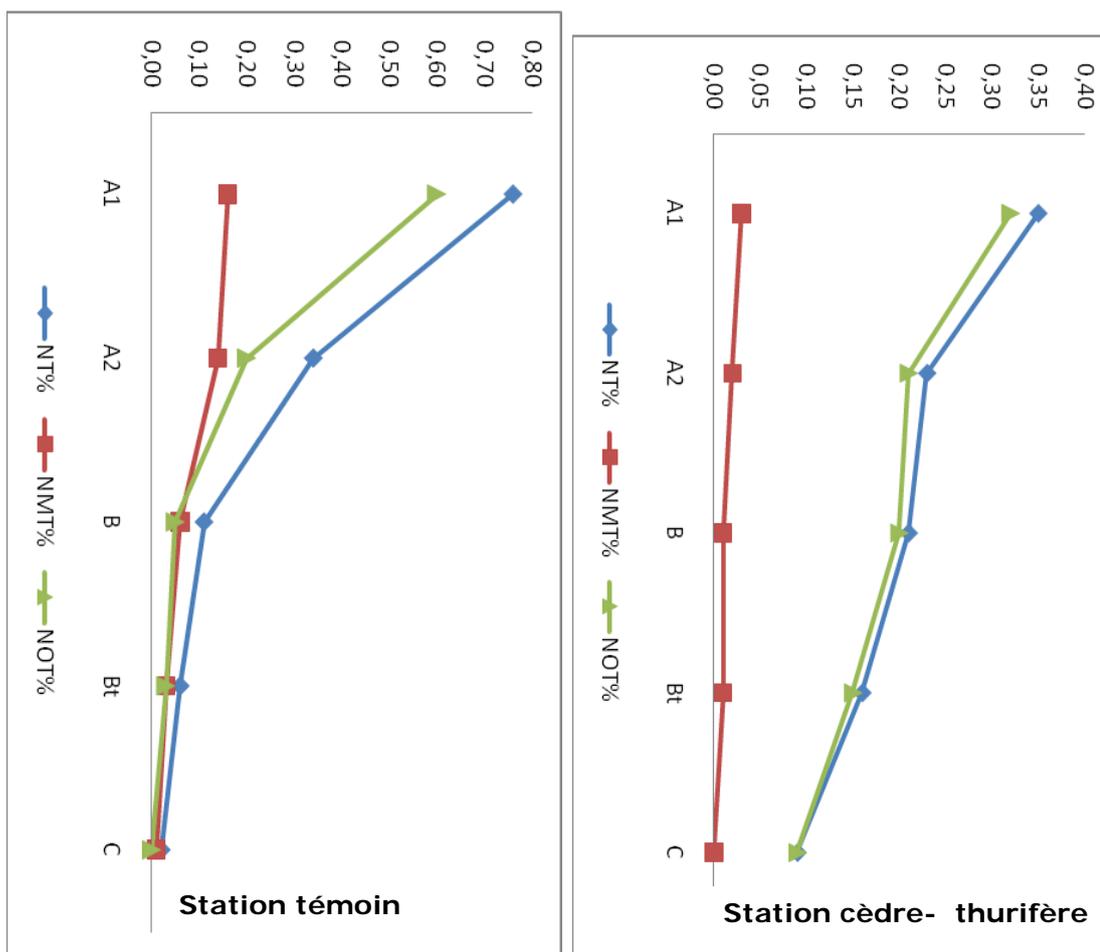


Fig.27 : Distribution des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie à thurifère.

III-2- Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie à thurifère :

Les résultats figurant dans les courbes ci-après, présentant l'effet de la couverture forestière de type cédraie à thurifère, nous révèlent des taux très bas des deux fractions de l'azote minéral (nitrique et ammoniacal) dans tous les horizons.

Dans l'horizon « A1 », l'azote ammoniacal est légèrement plus élevé que l'azote nitrique, ils sont égaux dans l'horizon « A2 », tandis que l'azote ammoniacal est nul dans le reste des horizons « B, Bt, et C »

L'azote nitrique représente des valeurs très faibles dans la cédraie à thurifère par rapport à la pelouse, il est de l'ordre de 0,01% dans les horizons : «A1, A2, B et Bt » contre 0,10%, 0,09%, 0,04% et 0,02% dans la pelouse. Pour l'horizon « C », l'azote nitrique est nul dans la cédraie à thurifère et il est de 0,01% dans la pelouse.

Aussi, la quantité de l'azote ammoniacal est réduite dans la cédraie à thurifère par rapport à la pelouse ; dans le « A1 », il est de l'ordre de 0,02% dans la cédraie à thurifère contre 0,06% dans le témoin, dans le « A2 », il est de 0,01% contre 0,05%. Dans le reste des horizons de la cédraie à thurifère, l'azote ammoniacal est nul contre 0,02% dans « B », 0,01% dans le « Bt » et 0,00% dans le « C » du témoin.

Nos résultats sont similaires à ceux obtenus par REVERSAT, (1973) dans les sols de la forêt tropicale humide. Ce dernier a rapporté que l'azote ammoniacal se trouve principalement dans les trois premiers centimètres du sol ; l'azote nitrique, moins abondant dans l'horizon 0-3 cm que l'azote ammoniacal, diminue également dans les horizons inférieurs, mais relativement moins rapidement.

En profondeur, REVERSAT, (1976) avait observé les mêmes tendances que les nôtres: l'ammonification est appréciable en profondeur, bien que plus faible qu'en surface, la nitrification n'est importante que dans les horizons supérieurs.

Ceci peut être dû à la nature acidifiante des litières mixtes (cèdre-thurifère). L'inhibition du processus de minéralisation de l'azote organique

des sols sous végétation acidifiante est due selon plusieurs auteurs, à la composition des tissus végétaux des aiguilles de Cèdre et des écailles de thurifère en composés carbonés difficilement biodégradables (lignine et lipides), ou en composés tannant (BENSID, 1996).

Sur le plan statistique, la cédraie à thurifère est différente significativement de la pelouse (témoin) en matière d' NO_3 et d' NH_4 tandis que le test de Newman et Keuls dégage d'une part trois groupes homogènes d'horizons pour l' NO_3 ; où A1 et A2 dans un groupe, B et Bt dans un autre groupe, et le C dans un groupe à part, et quatre groupes pour le NH_4 d'autre part ; ou le Bt et le C dans un seul groupe.

Tableau N° 13 : Résultats des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie à thurifère.

	Horizons	NO3%	NH4%
Clairière	A1	0,10	0,06
	A2	0,09	0,05
	B	0,04	0,02
	Bt	0,02	0,01
	C	0,01	0,00
Cédraie à thurifère	A1	0,01	0,02
	A2	0,01	0,01
	B	0,01	0,00
	Bt	0,01	0,00
	C	0,00	0,00

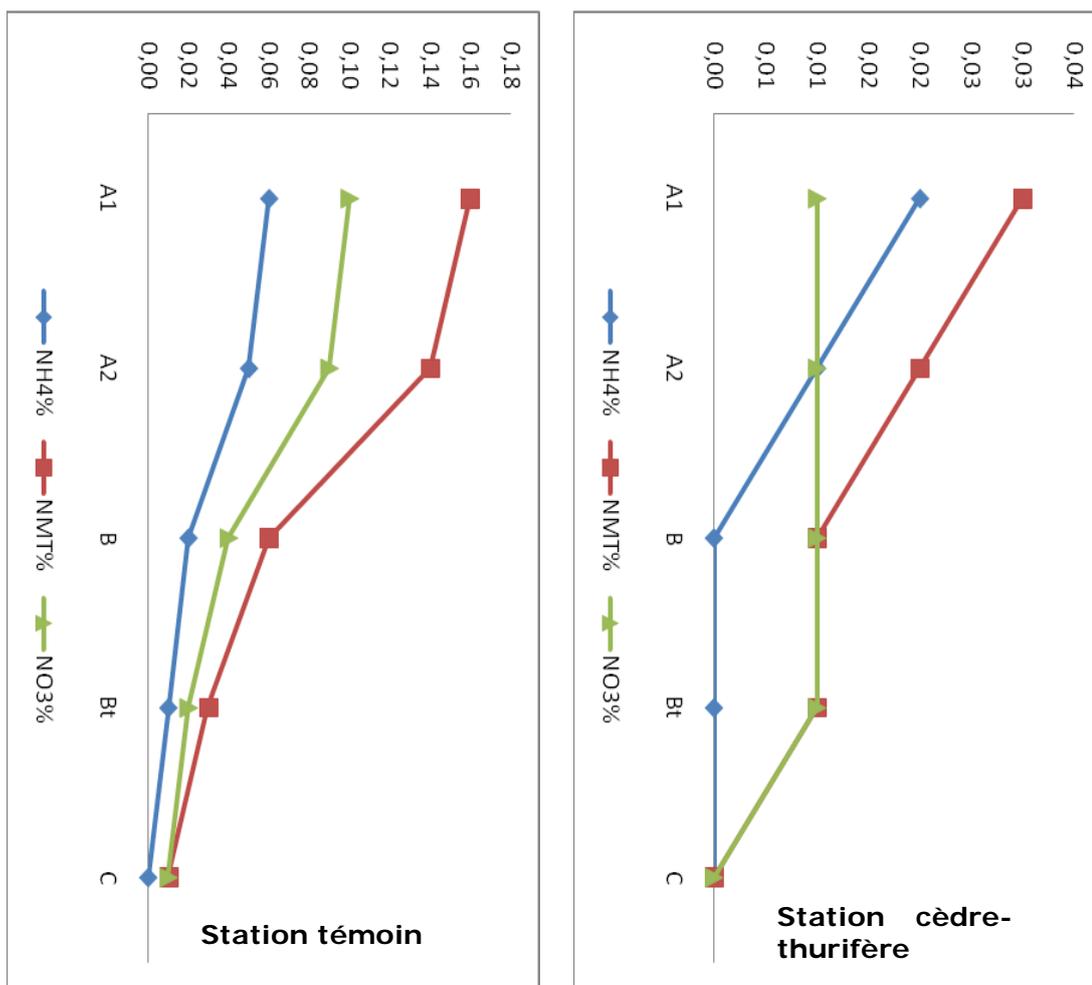


Fig.28: Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie à thurifère.

III-3- Distributions des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie à thurifère :

L'observation des résultats de l'azote organique enregistrés dans la station cédraie à thurifère nous permet de formuler les remarques suivantes :

La fraction azote hydrolysable distillable est toujours dominante par rapport à la fraction NHND dans la station cédraie à thurifère comme les autres stations, chose qui a été observée par différents auteurs (BOUNOUARA (1996), BENSID (1996) et MERIDJA (2008)).

En comparaison avec la clairière, la teneur de l'NHD de la cédraie à thurifère est moins importante que sa teneur dans la clairière seulement dans le « A1 », tandis qu'elle est plus importante dans le reste du profil.

En terme bioécologique, cette différence d'azote organique hydrolysable des sols sous deux couverts végétaux est due particulièrement à la nature « acidifiante » des litières provenant du couvert constitué de résineux (Cèdre pure et Thurifère) d'une part, ou à l'effet rhizosphérique en surface provenant du couvert constitué de graminées (pelouse forestière).

Les retombés biologiques des résineux contiennent d'après DOMMERGUES et MANGENOT, (1970) des substances fortement inhibitrices vis-à-vis de la microflore bactérienne immobilisatrice de l'azote, ce qui explique les taux moyennement faibles (par rapport à la cédraie- chénaie) des formes hydrolysables de l'azote organique.

Par ailleurs, l'influence défavorable des litières acidifiantes sur les microflores des sols telle qu'elle fût noté par BAUZON, et al., (1968), ne se fait pas d'une manière exclusive sur la microflore minéralisatrice mais aussi sur la microflore réorganisatrice de l'azote.

En outre, la richesse des litières en produits tannants difficilement biodégradables (lignine et tannins) des litières forestières explique, en partie, la difficulté rencontrée par les microorganismes dans la minéralisation de la matière organique, et c'est plutôt le processus d'immobilisation qui semble l'emporté (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

En ce qui concerne la fraction NHND, nous remarquons que cette dernière est plus importante dans les deux horizons superficiels de la cédraie-thuriferaie, tandis qu'elles sont égales avec celle de la clairière dans le reste du profil.

Cette fraction est constituée essentiellement d'acides aminés d'origine microbienne ou issue de la décomposition des substrats organiques (protéines, peptides, amides, amines) ; les autres formes non distillables correspondent aux hexo-amines et aux amino-sucres qui proviennent des amino-polysaccharides. D'autres travaux ont montré que les sucres aminés dans le sol sont constitués des glucosamines et de galacto-amines (BREMNER in CHELOUFI, 1991). Cette fraction représente le siège biologique où s'établissent les processus d'organisation et de reminéralisation d'origine microbienne.

Ce qui explique ce taux élevé des formes hydrolysables dans les sols de la cédraie pure comparativement au témoin (à l'exception de l'horizon A1), c'est bien la richesse des matières organiques arrivant à ces sols en azote ammoniacal dont la désamination (sucres-aminés, acides-aminés) qui se produit au cours de l'hydrolyse acide.

D'après JAQUIN et al., (1992), la prédominance de l'azote protéique et glucidique est due essentiellement à leur origine microbienne et fait d'elles le siège biologique le plus actif de la matière organique.

Statistiquement, le test de Newman et Keuls établi pour la cédraie-thuriferaie n'est significatif que pour le facteur horizon concernant l'NHD, pour l'NHND, le test est significatif pour les deux facteurs. Il y a cinq groupes homogènes pour le facteur horizon (il y a une différence significative entre l'NHND des différents horizons). Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre l'NHND du témoin et celui de la cédraie-thuriferaie.

En comparant la fraction azote non hydrolysable de l'azote organique (NNH) entre le témoin et la cédraie à thurifère, nous constatons que les teneurs de l'NNH des horizons « A1 et A2 » de la cédraie à thurifère sont moins importantes que celles dans la station témoin (pelouse) avec 0,10%

et 0,09% contre 0.14% et 0,09%. A partir de « B » l'NNH est plus important dans la cédraie à thurifère, avec 0.07% contre 0.02% dans le "B", 0.06% contre 0.01% dans le "Bt" et 0.02% contre 0.00% dans le "C". Cette fraction correspond à l'azote hétérocyclique résistant à l'hydrolyse acide. Elle représente pour BOUNOUARA (1996) de faibles taux comparativement à la forme hydrolysable, et ce conformément aux travaux de JANEL (1977).

D'après BARRIUSO et ses collaborateurs (1990), ce sont les formations colloïdales organo- minérales qui semblent contenir les constituants les plus condensés et induisent la formation de complexes stables ; ceci se traduit par une augmentation de l'azote non hydrolysable. Ces chercheurs signalèrent qu'un taux de 10 à 30% de l'azote environ n'est pas hydrolysable.

Selon AKROUM, (1985), les formes non hydrolysables de l'azote organique sont moins importantes que les formes hydrolysables dans le sol.

Sur le plan statistique, L'azote non hydrolysable dans la cédraie à thurifère est différent significativement entre les horizons, ainsi qu'entre le témoin et la cédraie à thurifère.

Tableau N° 14 : Résultats des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie à thurifère.

	Horizons	NHD%	NHND%	NNH%
Clairière	A1	0,21	0,05	0,34
	A2	0,08	0,03	0,09
	B	0,01	0,02	0,03
	Bt	0,00	0,01	0,02
	C	0,00	0,01	0,01
Cédraie à thurifère	A1	0,10	0,03	0,19
	A2	0,07	0,02	0,12
	B	0,07	0,02	0,11
	Bt	0,06	0,02	0,07
	C	0,02	0,01	0,06

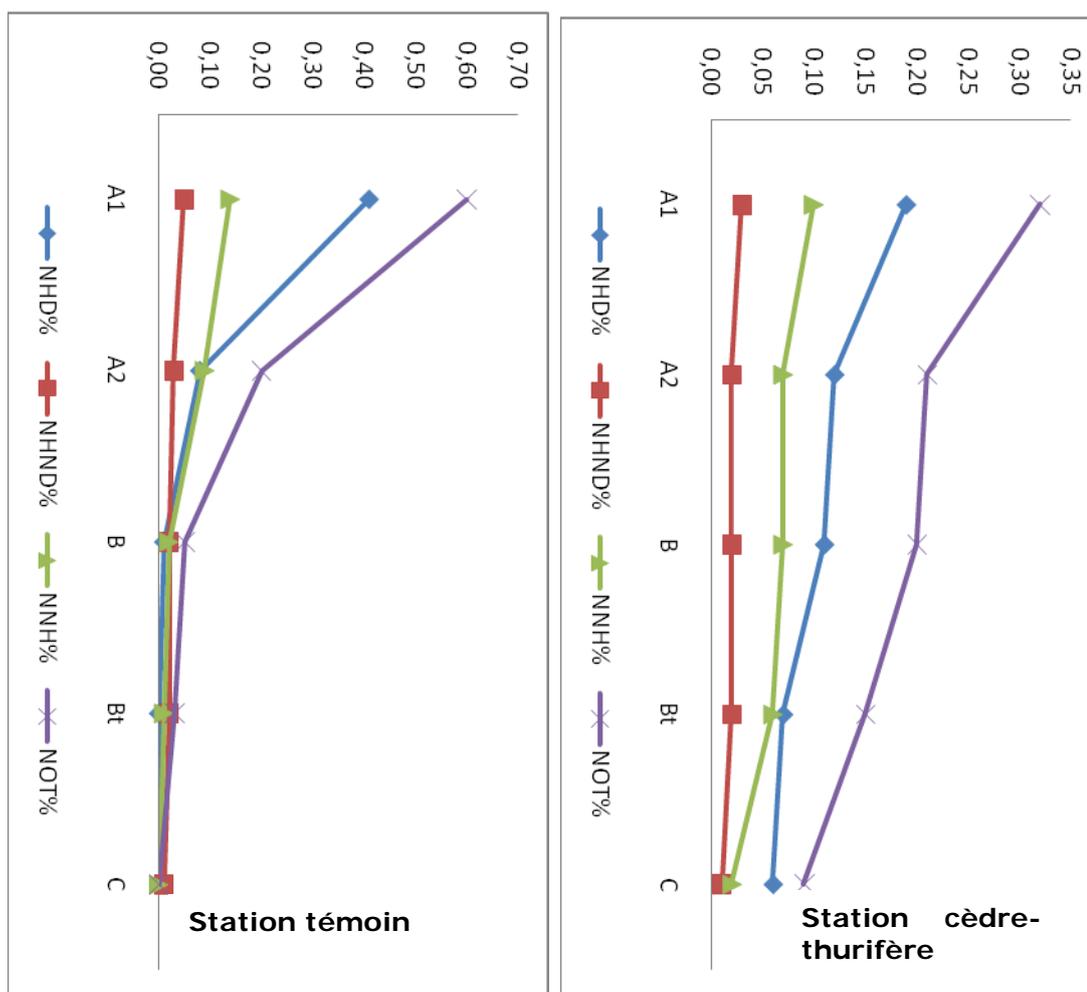


Fig.29 : Distribution des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie à thurifère.

IV- Effet des différentes stations de cèdre sur la distribution

l'azote dans les sols :

IV-1- Distribution de l'azote total dans les différentes stations étudiées :

IV-1-1- Distribution de l'azote minéral total dans les différentes stations étudiées :

En comparant les teneurs de l'azote minéral total dans les différentes stations nous constatons que pour les horizons « A1 et A2 », un effet pelouse plus important avec 0.16% et 0.014% d'azote minéral. En deuxième position se situe la cédraie à chêne vert avec 0.14%. La troisième place revient à la cédraie- pure avec 0,06% et 0.04%, et la dernière à la cédraie à thurifère avec 0.03% et 0,02% d'azote minéral. (Voir tableau N° 15).

L'effet important de la pelouse peut s'expliquer par l'influence positive exercée par la rhizosphère au niveau des horizons superficiels (A1 et A2) sur la minéralisation de l'azote; ceci a été élucidé par RHAM (1973).

Ainsi, dans la cédraie- chénaie, les feuilles de chêne vert en mélange avec le cèdre de l'atlas peuvent avoir un effet meilleur que celui des feuilles de chêne vert sur la minéralisation de l'azote dans les sols.

A l'inverse, la litière mixte de résineux (cèdre –thurifère), présente un effet défavorable vis-à-vis de la minéralisation de l'azote par rapport à la litière monospécifique constituée de cèdre seul, dont la composition chimique serait différente de celles des autres résineux.

L'effet de la mixité des peuplements de cèdre et de chêne vert a été auparavant élucidé par BEZZALA (2002).

Dans l'horizon « B », nous observons que la cédraie- chénaie contient les plus grandes teneurs d'azote minéral total avec 0,07%, la pelouse est la deuxième avec 0,06%, la cédraie-pure est la troisième avec 0,01% et la cédraie à thurifère la dernière avec 0,01%. Pour l'horizon « Bt », la pelouse et la cédraie-chénaie sont en première place avec 0,03%, la cédraie à thurifère est la deuxième avec 0,01% et la cédraie pure la dernière avec 0,00%. (Voir tableau N° 15).

Il est à noter aussi que l'azote minéral total est totalement absent au niveau de l'horizon « C » des trois stations étudiées cédraie pure, cédraie-chênaie et cédraie à thurifère à l'exception du témoin (pelouse).

Dans ce cadre REVERSAT (1974) avait signalé les mêmes tendances de distribution de l'azote total dans une forêt tropicale du Côte d'Ivoire. D'après cet auteur, La répartition de l'azote total ressemble à celle du carbone : teneur élevée en surface et une diminution rapide dans les horizons inférieurs.

Ainsi, DJEGUI et al (1992) ont observé sous une végétation forestière naturelle, des teneurs élevées en azote total dans les horizons de surface A1. Les teneurs diminuent dans l'horizon AB et un léger ventricule d'accumulation apparaît vers 60 cm.

D'une façon générale, on peut admettre que l'azote minéral total à partir de l'horizon « B » est présent par ordre de grandeur premièrement dans la cédraie-chênaie, la cédraie pure et enfin la cédraie à thurifère. (Voir tableau N°15). Ceci peut nous conduire à dire que, en profondeur, c'est l'effet combiné des litières et de la rhizosphère qui régit le processus de minéralisation de l'azote des sols forestiers.

En outre, la richesse relative des feuilles du chêne vert en azote, en polysaccharides et autres nutriments énergétiques, stimulateurs de la biodégradation de la matière organique des sols et de sa minéralisation, est en partie responsable des fortes teneurs d'azote minéral. (BENSID, 1996).

Par ailleurs, l'analyse statistique fait ressortir que pour l'azote minéral total, le test de Newman et Keuls dégage deux groupes de stations au lieu de quatre stations ; la pelouse (clairière) et la cédraie- chênaie dans un groupe, et la cédraie pure avec la cédraie à thurifère dans un deuxième groupe.

Tableau N° 15 : Comparaison des résultats de l'azote minéral total dans les différentes stations étudiées.

Horizons	Nmt CI	Nmt cp%	Nmt CCh %	Nmt CTh %
A1	0,16	0,06	0,14	0,03
A2	0,14	0,04	0,07	0,02
B	0,06	0,02	0,03	0,01
Bt	0,03	0,00	0,00	0,01
C	0,01	0,00	-	0,00

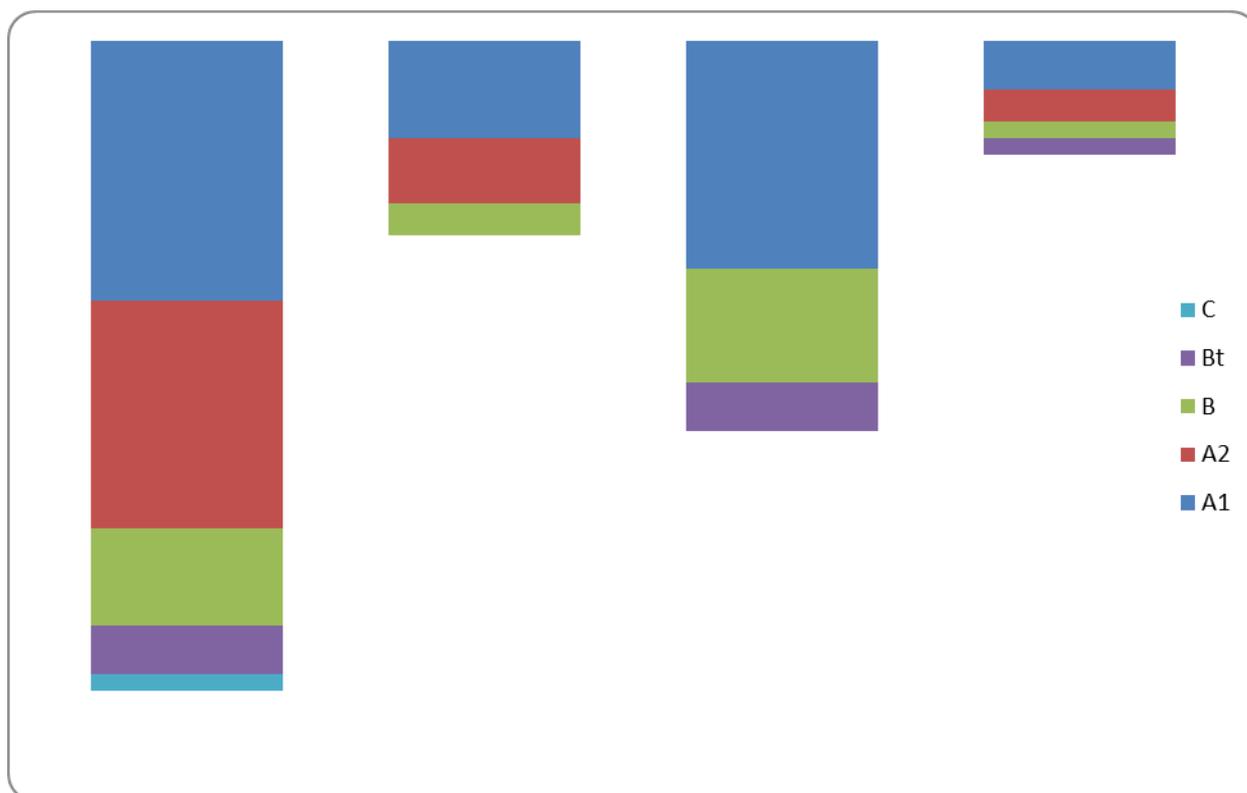


Fig.30 : Comparaison de la distribution de l'azote minéral total dans les sols des différentes stations étudiées.

IV-1-2- Distribution de l'azote organique total dans les différentes stations étudiées :

Dans le milieu forestier naturel, l'azote est en grande partie stocké sous forme organique, au sein des débris végétaux de toutes sortes présents au niveau des couches humifères (Coûture et Fortin, in BOUNOUARA 1996).

L'azote organique du sol constitue presque la totalité de l'azote total, sa composition est très complexe et comprend aussi bien des protéines que des produits azotés hétérocycliques ; leur évolution est liée étroitement à la nature des matières organiques et la litière végétale, et surtout aux conditions pédoclimatiques (MANGENOT et TOUTAIN 1980 ; BRRIUSO et al., 1990).

En comparant les teneurs de l'azote organique total dans les différentes stations étudiées, nous pouvons remarquer que seulement au niveau de l'horizon « A1 », la station témoin contient la plus grande teneur avec 0.60% d'azote organique total, la cédraie- chénaie occupe la deuxième position avec 0.56%, puis la cédraie pure avec 0.40% et enfin la cédraie-thuriferaie avec 0.32%. (Voir tableau N° 16).

Ceci peut s'expliquer par l'effet rhizosphérique intense dans la pelouse d'une part, et par l'effet litière « améliorant » pour la cédraie – chénaie, ou « acidifiant » pour la cédraie pure et la cédraie à thurifère, d'autre part.

Dans ce même cadre, BENSID, (1996), en étudiant la dynamique de l'azote dans deux stations à savoir Chénaie et Pineraie notait que sous le Chêne vert, les microflore telluriques exercent une intense activité réorganisatrice, alors que sous le pin d'Alep, cette activité microbienne est relativement moins importante.

Par ailleurs, l'influence défavorable des litières acidifiantes sur les microflore des sols telle qu'elle fût notée par BAUZON, et al., (1968) en zones tempérées, ne se fait pas d'une manière exclusive sur la microflore minéralisatrice mais aussi souvent sur la microflore réorganisatrice de l'azote.

En outre, la richesse des litières en produits tannants difficilement biodégradables (lignine et tannins) des litières forestières explique, en partie, la difficulté rencontrée par les microorganismes dans la minéralisation de la matière organique, et c'est plutôt le processus d'immobilisation qui l'emporte (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

Dans l'horizon « A2 », c'est la cédraie pure qui l'emporte avec 0.35%, puis la cédraie à thurifère avec 0.21% et enfin la clairière avec 0.20%. (Voir tableau N° 16).

L'azote organique semble présenter les meilleures teneurs dans la cédraie pure, puis la cédraie à thurifère. Il y a apparition d'un effet litière de cèdre, malgré son caractère « acidifiant » comparativement à la cédraie à thurifère. L'azote organique dans le sol de la pelouse est le moins important parce qu'en profondeur ; il n'y avait pas un effet marquant de la végétation herbacée.

Dans l'horizon « B », c'est la cédraie à chêne vert qui contient la plus grande teneur d'azote organique total avec 0.28%, ensuite la cédraie pure avec 0.26%, puis la cédraie à thurifère avec 0.20% et enfin la clairière avec 0.05%. (Voir tableau N° 16).

Les mêmes constats et les mêmes explications peuvent être données à la distribution de l'azote organique total dans l'horizon « B » dans les différentes stations étudiées. On note aussi un effet litière favorable remarquable sous un couvert forestier de type mixte (cèdre- chêne), un effet défavorable de la litière de cèdre, et un effet plus défavorable remarqué sous le système cèdre- thurifère. Il n'y avait aucun effet notable en profondeur dans la station « pelouse ».

En conséquence, la teneur la plus importante de l'azote organique total dans l'horizon « Bt » est celle de la cédraie pure avec 0.18%, ensuite la cédraie-chênaie et la cédraie à thurifère avec 0.15%, et enfin la clairière avec une teneur très faible 0.03%. (Voir tableau N° 16).

Contrairement à l'azote minéral total, il existe encore de l'azote organique total dans l'horizon « C », les valeurs sont celles qui ont été données pour l'azote total (Nt). (Voir tableau N° 16).

Statistiquement, l'analyse de l'azote organique total montre que le test de Newman et Keuls n'est pas significatif pour le facteur station ; c'est-à-dire qu'il n'y a pas une différence significative entre les valeurs de l'azote organique total des différentes stations étudiées.

Tableau N° 16 : Comparaison des résultats de l'azote organique total dans les différentes stations étudiées.

Horizons	Not CI %	Not CP %	Not CCh %	Not CTh %
A1	0,6	0,40	0,56	0,32
A2	0,2	0,35	0,28	0,21
B	0,06	0,26	0,15	0,20
Bt	0,03	0,18	0,06	0,15
C	0,02	0,13	-	0,09

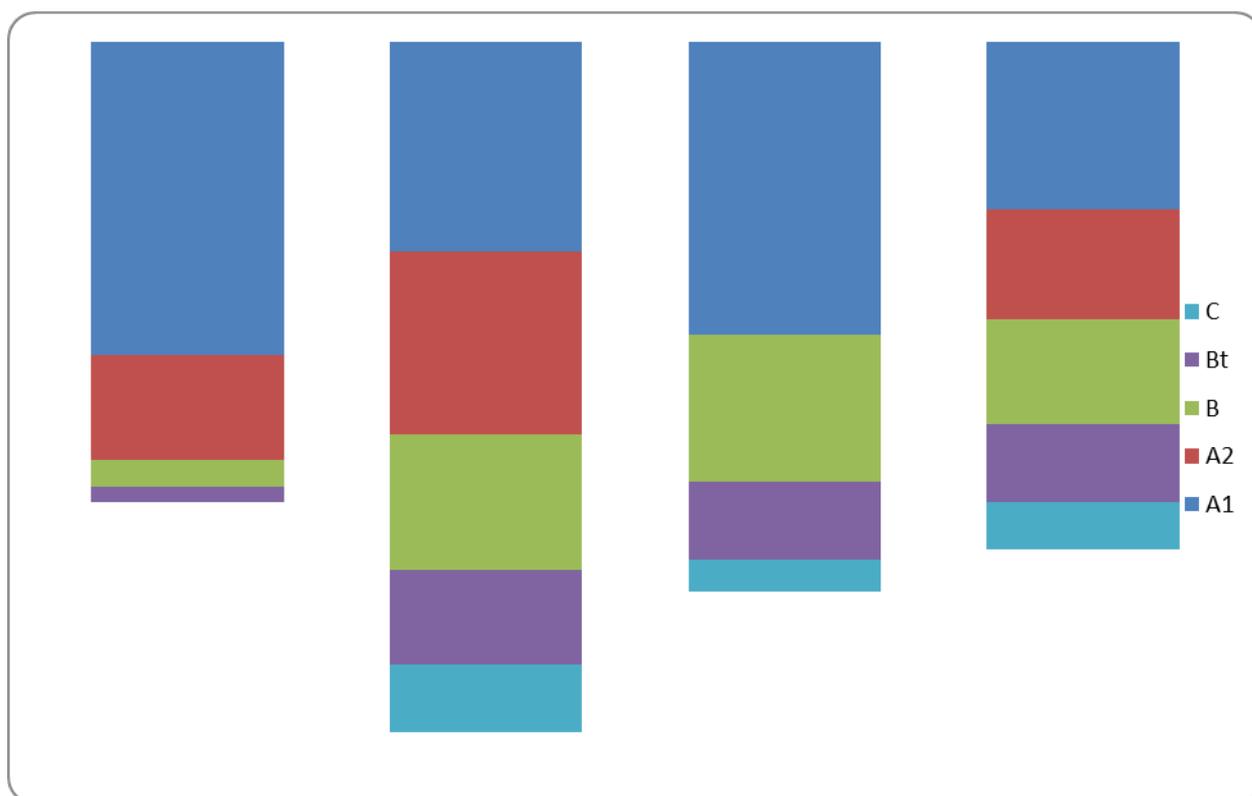


Fig.31 : Comparaison de la distribution de l'azote organique total dans les sols des différentes stations étudiées.

IV-2- Distribution de l'azote minéral dans les différentes stations étudiées :

IV-2-1- Distribution de l'azote nitrique dans les différentes stations étudiées :

En comparant l'effet des différentes couvertures forestières; pelouse, cédraie-pure, cédraie-chênaie et cédraie à thurifère sur l'azote nitrique dans le sol, nous pouvons remarquer que la pelouse (le témoin) est classée en premier lieu pour les deux premiers horizons « A1 et A2 » ; avec les valeurs respectives de 0,10% et 0,09% ; la cédraie- chênaie est la deuxième avec 0,07% dans l'horizon « A1 », la cédraie pure est la troisième avec 0,02% et 0,02% et la cédraie à thurifère est la dernière avec 0,01% et 0,01%. (Voir tableau N° 17).

En surface, nous remarquons un effet rhizosphère plus marquant de la pelouse que l'effet litière dans les autres stations de cèdre.

En profondeur, et à partir de l'horizon « B », nous observons un effet litière remarquable, et ce avec des variantes ; à savoir, un effet litière favorable exercé par la litière mixte dans la station cédraie-chênaie, un effet litière défavorable exercé par les litières monospécifiques de cèdre dans la cédraie pure et, un effet litière très défavorable qui apparaît sous l'effet des litières mixtes de type cèdre- thurifère.

Dans son étude, REVERSAT, (1973) avait remarqué dans les sols de la forêt tropicale humide que l'azote nitrique est moins abondant dans l'horizon 0-3 cm que l'azote ammoniacal, mais il diminue dans les horizons inférieurs, relativement moins rapidement que l'ammoniac.

Ce taux faible d'azote nitrique peut être dû aussi à la dénitrification. Au laboratoire, la perte d'azote nitrique après 24h est de 85 à 90% dans les sols les plus humides. Parallèlement, une augmentation de l'azote ammoniacal est observée et elle est due à l'absence de la nitrification plus la libération d' NH_4 en conditions anaérobies en profondeur. (REVERSAT, 1974).

Pour les deux horizons « B et Bt », nous observons que la cédraie-chênaie est classée première avec 0,04% et 0,03%, la pelouse est la deuxième

avec 0,04% et 0,02%. La troisième place revient à la cédraie à thurifère avec 0,01% partout, et la dernière à la cédraie pure avec 0,01% et 0,00%. La quantité de l'azote nitrique est nulle dans l'horizon « C » de toutes les stations à part la clairière avec 0,01%. (Voir tableau N° 17).

Dans le reste des stations, on peut expliquer ce classement à l'effet des litières mixtes dans la station cédraie- chénaie, qui peuvent avoir un effet favorable sur la nitrification. D'autre part, les litières monospécifiques de cèdre ou mixtes de cèdre- chêne, peuvent avoir un effet défavorable sur la nitrification ; ces dernières contiennent des substances inhibitrices vis-à-vis de la nitrification dans le sol.

Les mesures faites par CUNNINGHAM, (1962) et par RHAM, (1971) confirment la faible nitrification de l'azote en profondeur.

Le test de Newman et Keuls fait apparaître trois groupes homogènes de stations forestières (couvertures végétales) où la clairière se range dans un groupe, la cédraie- chénaie dans un autre groupe intermédiaire, et la cédraie pure avec la cédraie- thuriferaie dans un troisième groupe. C'est-à-dire qu'il y a une différence statistiquement significative d' NO_3 entre les différentes stations à part la cédraie pure et la cédraie à thurifère.

Tableau N° 17 : Comparaison des résultats de l'azote nitrique dans les différentes stations étudiées.

Horizons	NO3 CI %	NO3 CP %	NO3 CCh %	NO3 CTh %
A1	0,10	0,02	0,07	0,01
A2	0,09	0,02	0,04	0,01
B	0,04	0,01	0,03	0,01
Bt	0,02	0,00	0,00	0,01
C	0,01	0,00	-	0,00

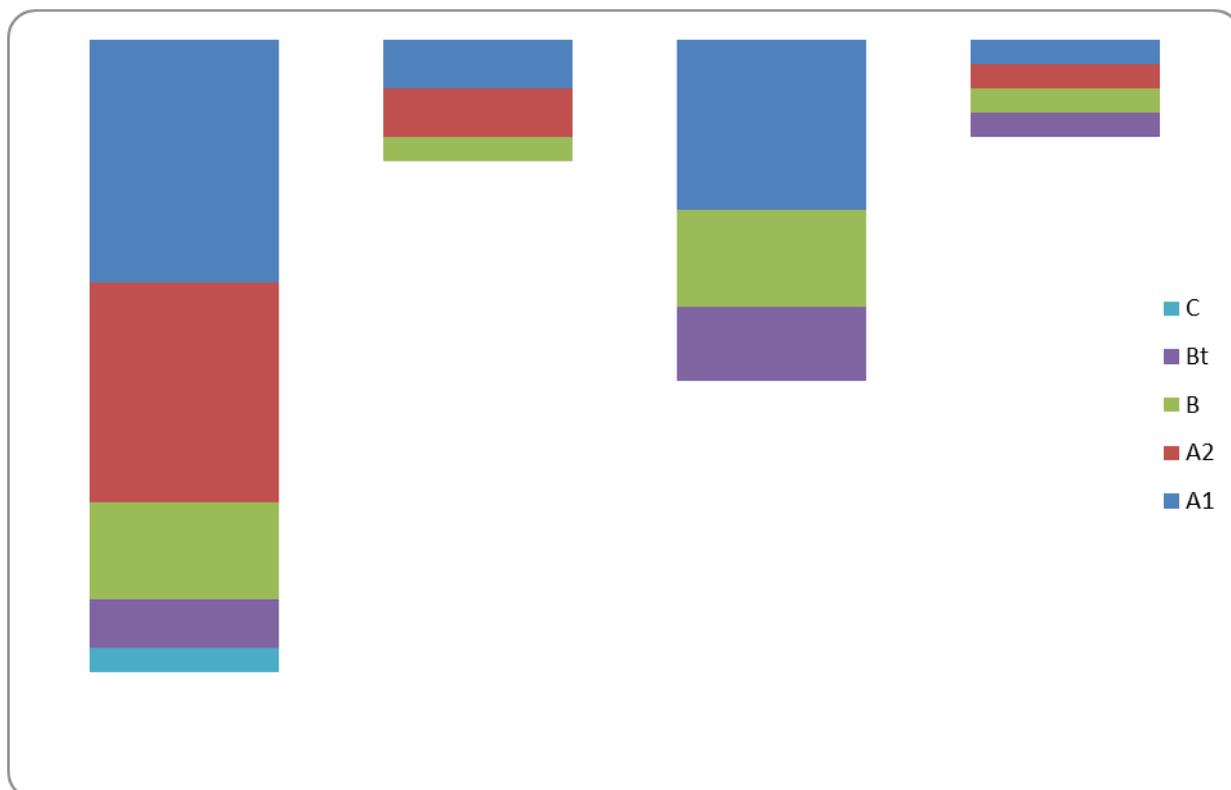


Fig.32 : Comparaison de la distribution de l'azote nitrique dans les sols des différentes stations étudiées.

IV-2-2- Distribution de l'azote ammoniacal dans les différentes stations étudiées :

La comparaison de l'effet des différentes couvertures forestières sur l'azote ammoniacal dans le sol nous révèle que pour l'horizon « A1 » l' NH_4 prend la valeur la plus haute dans la cédraie- chénaie, ensuite la pelouse, la cédraie pure et enfin la cédraie à thurifère avec les valeurs : 0,07%, 0,06%, 0,04%, et 0,02%. (Voir tableau N° 18).

Dans l'horizon « A2 », la clairière est classée première avec 0,05%, la cédraie pure deuxième avec 0,02% et la cédraie à thurifère la dernière avec 0,01%. (Voir tableau N° 18).

Les mêmes tendances ont été observées pour l'azote nitrique dans les horizons holorganiques, on peut admettre l'hypothèse que c'est à cause de l'effet des litières « améliorantes » sous le cèdre- chêne, ou de l'effet des matières « acidifiantes » sous la cédraie pure et sous la cédraie à thurifère.

Dans l'horizon « B » et « Bt » la cédraie- chénaie est première avec 0,03% et 0,00%, la clairière est deuxième avec 0,02% et 0,01%, la cédraie pure est troisième 0,01% et 0,00% et la cédraie à thurifère est la dernière avec 0,00% dans les deux horizons. Dans ces deux horizons l'effet de la couverture végétale sur l'ammonification est admissible, mais avec réserve, car, à notre avis la pelouse ne doit pas avoir un effet sur l'ammonification en profondeur. (Voir tableau N° 18).

L' NH_4 est inexistant dans l'horizon « C » de toutes les stations étudiées.

Autrefois, REVERSAT, (1973) avait remarqué dans les sols de la forêt tropicale humide que l'azote ammoniacal se trouve principalement dans les trois premiers centimètres du sol ; il diminue dans les horizons inférieurs plus rapidement que l'azote nitrique.

En profondeur, le même auteur avait observé les mêmes tendances que les nôtres : l'ammonification est appréciable en profondeur, bien que plus faible qu'en surface.

Pour l'azote ammoniacal, le test de Newman et keuls fait ressortir trois groupes homogènes de stations forestières, la clairière et la cédraie-

chênaie dans un groupe, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas différents statistiquement. Tandis que la cédraie pure et la cédraie à thurifère forment chacune un groupe à part ; il y a une différence statistiquement significative entre les valeurs de l'azote ammoniacal dans ces stations. Ceci est peut être dû à la nature herbacée de la végétation constituant ces deux stations.

Tableau N° 18 : Comparaison des résultats de l'azote ammoniacal dans les différentes stations étudiées.

Horizons	NH4 CI %	NH4 CP %	NH4 CCh %	NH4 CTh %
A1	0,06	0,04	0,07	0,02
A2	0,05	0,02	0,03	0,01
B	0,02	0,01	0,00	0,00
Bt	0,01	0,00	0,00	0,00
C	0,00	0,00	-	0,00

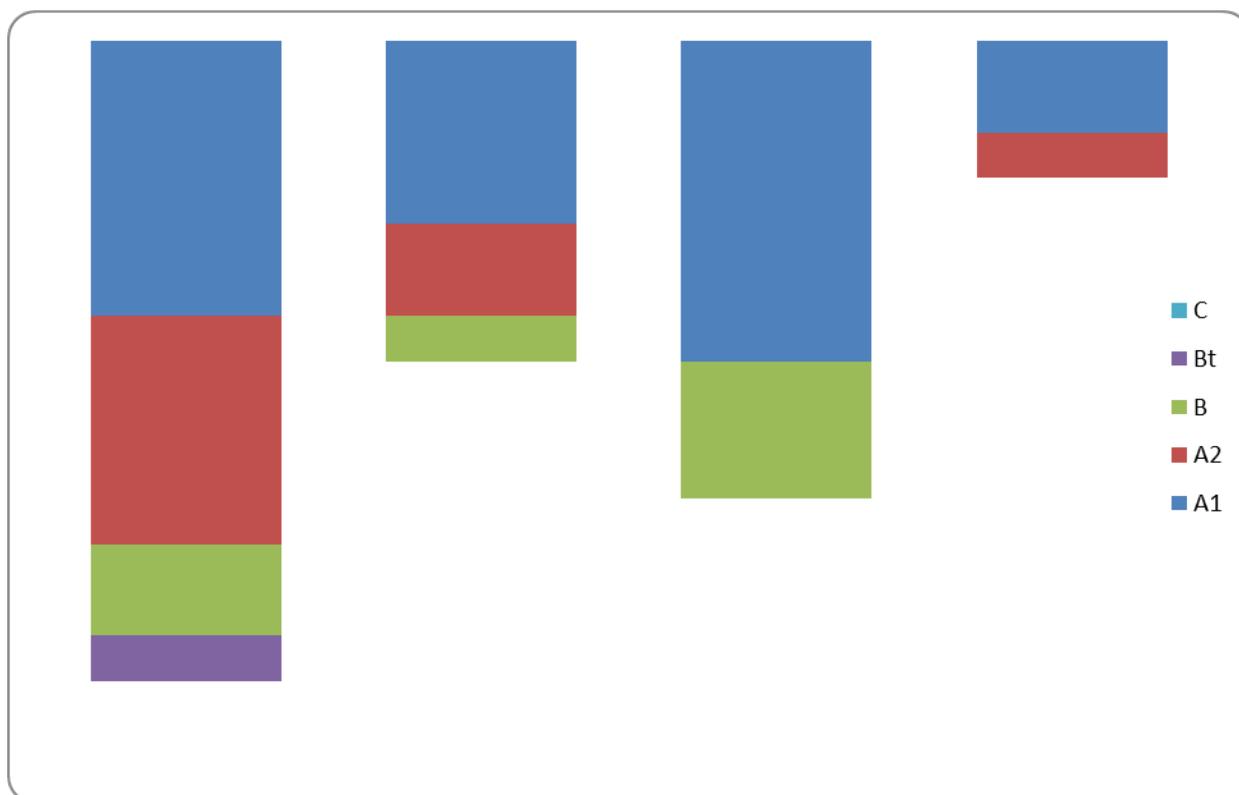


Fig.33 : Comparaison de la distribution de l'azote ammoniacal dans les sols des différentes stations étudiées.

IV-3- Distribution de l'azote organique dans les différentes stations étudiées :

IV-3-1- Distribution de l'azote hydrolysable distillable dans les différentes stations étudiées :

L'azote hydrolysable distillable est essentiellement constitué de composés ammoniacaux dont l'hydrolysate provient des sels d'ammonium, d'une partie des amino- acides et des amides et probablement des complexes lignine- ammoniacale. (MANGENOT et TOUTAIN in PESSON, 1980).

Cette fraction est très importante dans l'horizon « A1 » de la clairière. La cédraie à chêne vert la deuxième. A partir de « A2 » la clairière est la dernière parmi les stations étudiées pour cette fraction. Dans le reste des horizons, la cédraie pure est la première, la cédraie à thurifère est la deuxième et la cédraie- chênaie en troisième position. (Voir tableau N°19).

Ces résultats font apparaître dans l'horizon « A1 » un effet rhizosphère très net de la pelouse. Un effet litière favorable (mixte de cèdre chêne) est aussi observé dans l'horizon « A1 » mais de moindre importance. L'effet des litières résineuses est également notable dans cet horizon.

Nos résultats sont en conformité avec ceux de BOUNOUARA, (1996) qui révèlent d'une manière générale que les proportions d'azote organique les plus élevées sont sous la forme d'azote hydrolysable distillable.

Dans ce même cadre, BENSID, (1996), en étudiant la dynamique de l'azote dans deux stations à savoir Chênaie et Pineraie notait que sous Chêne vert, les microflore telluriques responsables de l'immobilisation et de la réorganisation de l'azote organique exercent une intense activité réorganisatrice, alors que sous le pin d'Alep, l'activité microbienne est relativement moins importante.

Les retombés biologiques des résineux contiennent d'après DOMMERGUES et MANGENOT, (1970) des substances fortement inhibitrices vis-à-vis de la microflore bactérienne influençant la dynamique de l'azote.

Par ailleurs, l'influence défavorable des litières acidifiantes sur les microflores des sols telle qu'elle fût notée par BAUZON, et al.,(1968), ne se fait pas d'une manière exclusive sur la microflore minéralisatrice mais aussi peut être sur la microflore réorganisatrice de l'azote.

En outre, la richesse des litières en produits tannants difficilement biodégradables (lignine et tannins) des litières forestières explique, en partie, la difficulté rencontrée par les microorganismes dans la minéralisation de la matière organique, et c'est plutôt le processus d'immobilisation qui l'emporte (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

Ainsi, les travaux de GALLALI, (1972) et VONG et al.,(1990), ont révélé une abondance des sucres aminés lesquels libèrent l' NH_4 selon un processus de désamination partielle au cours de l'hydrolyse acide.

Dans les horizons minéraux (B, Bt et C), cette fraction est présente en teneur remarquable dans la cédraie pure, elle est moins importante dans la cédraie à thurifère et très infime dans la cédraie- chénaie. (Voir tableau N°19).

Le test de Newman et Keuls n'est pas significatif pour le facteur station, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre l'azote hydrolysable distillable dans les différentes stations étudiées.

Tableau N° 19 : Comparaison des résultats de l'azote hydrolysable distillable dans les différentes stations étudiées.

Horizons	Nhd CI %	Nhd CP %	Nhd CCh %	Nhd CTh%
A1	0,21	0,19	0,30	0,10
A2	0,08	0,18	0,11	0,07
B	0,01	0,17	0,07	0,07
Bt	0,00	0,13	0,03	0,06
C	0,00	0,10	-	0,02

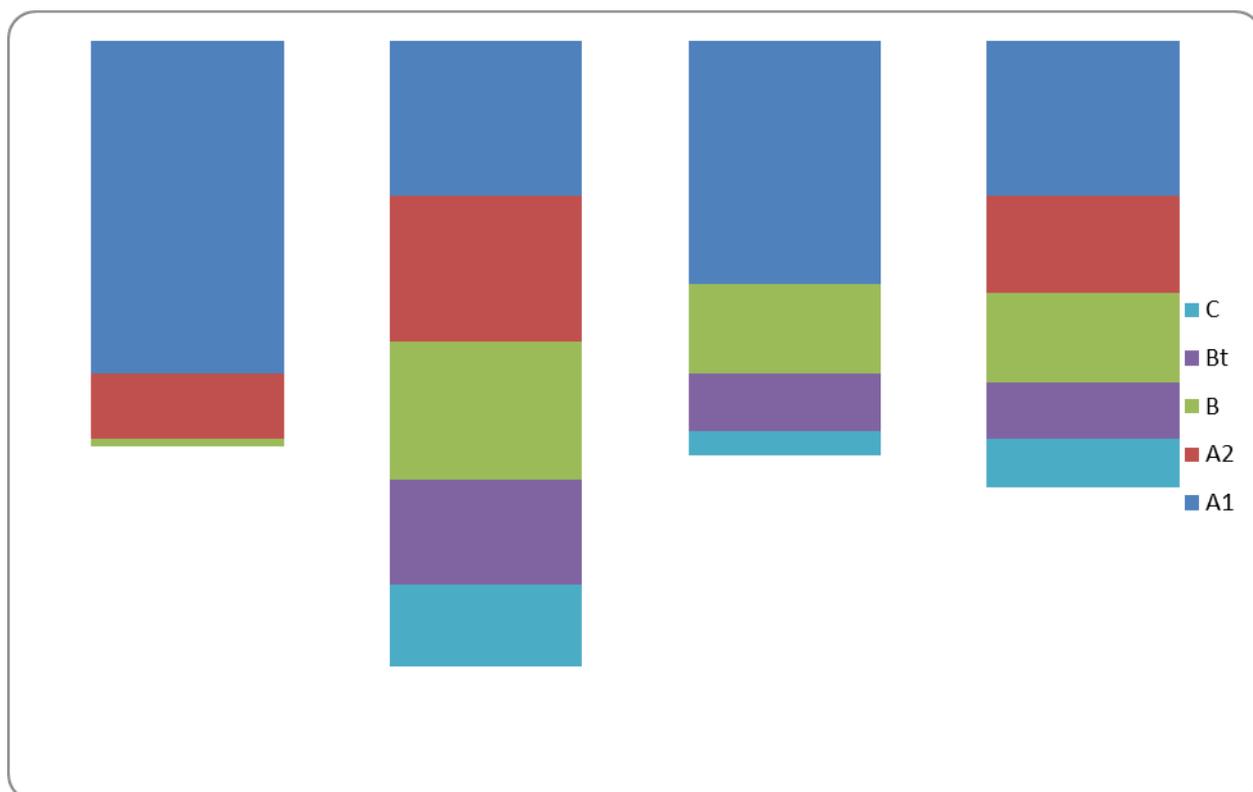


Fig.34 : Comparaison de la distribution de l'azote hydrolysable distillable dans les sols des différentes stations étudiées.

IV-3-2- Distribution de l'azote hydrolysable non distillable dans les différentes stations étudiées.

Cette fraction est constituée essentiellement d'acides aminés d'origine microbienne ou issu de la décomposition des substrats organiques (protéines, peptides, amides, amines). Les autres formes non distillables correspondent aux hexo-amines et aux amino-sucres qui proviennent des amino-polysaccharides. D'autres travaux ont montré que les sucres aminés dans le sol sont constitués des glucosamines et de galacto-amines (BREMNER in CHELOUFI, 1991). Cette fraction représente le siège biologique où s'établissent les processus d'organisation et de reminéralisation.

Pour la fraction NHND, nous remarquons que la cédraie- chénaie est en première place dans les horizons « A1 et B ». La cédraie pure est deuxième dans « A1, A2 et B ». La clairière est troisième et la cédraie-à thurifère est dernière. (Voir tableau N° 20).

Les faibles teneurs de l'NHND peuvent être en rapport avec la désamination partielle des sucres aminés et des amino-acides lesquels engendrent de l'ammoniac au cours de l'hydrolyse acide. (VONG et al., 1990).

D'après JAQUIN et al., (1992), la prédominance de l'azote protéique et glucidique est due essentiellement à leur origine microbienne et fait d'elles le siège biologique le plus actif de la matière organique.

Nous remarquons aussi que cette fraction de l'azote organique est abondante dans la cédraie à chêne vert même dans l'horizon organo-minéral « B ». Ceci est dû éventuellement à l'effet favorable des litières mixtes « améliorantes » (cèdre- chêne). La cédraie pure est également riche en NHND mais avec un degré moindre. Les plus faibles taux sont observés au niveau de la cédraie à thurifère. Concernant l'effet de la pelouse, les taux de cette fraction sont importants en surface du fait de l'effet rhizosphérique exercé par l'exsudation des racines intenses sur la microflore du sol. (Voir tableau N° 20).

Le test de Newman et Keuls pour le facteur station est significatif mais, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre les différentes stations étudiées.

Tableau N° 20 : Comparaison des résultats de l'azote hydrolysable non distillable dans les différentes stations étudiées.

Horizons	Nhnd CI %	Nhnd CP %	Nhnd CCh %	Nhnd CTh %
A1	0,05	0,08	0,10	0,03
A2	0,03	0,07	0,06	0,02
B	0,02	0,04	0,02	0,02
Bt	0,01	0,01	0,01	0,02
C	0,01	0,01	-	0,01

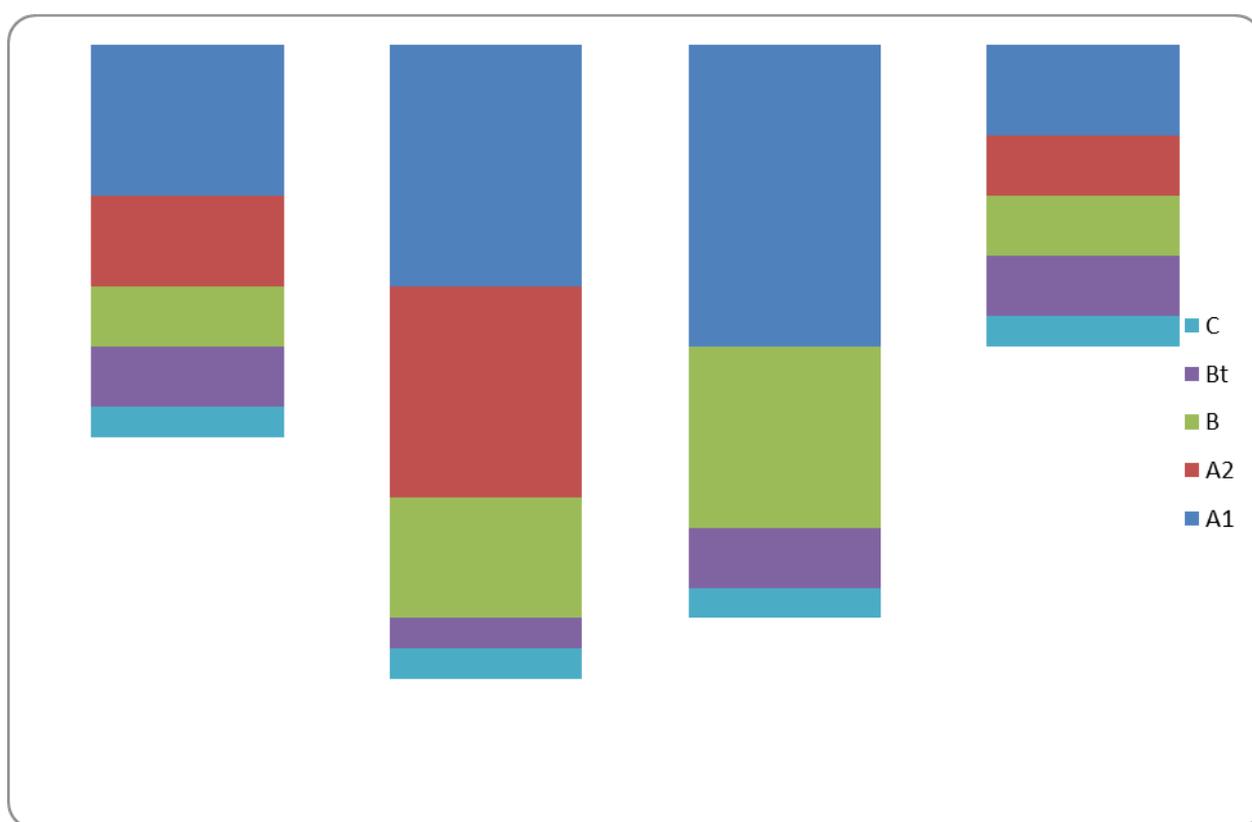


Fig.35 : Comparaison de la distribution de l'azote hydrolysable non distillable dans les sols des différentes stations étudiées.

IV-3-3- Distribution de l'azote non hydrolysable dans les différentes stations étudiées :

C'est la forme la plus stable de l'azote organique et elle correspond à l'azote hétérocyclique résistant à l'hydrolyse acide. Il semble que cette forme présente de façon générale de faibles doses par rapport aux formes hydrolysables de l'azote, et ce conformément aux travaux de JANEL (1977).

Pour les horizons « A1 et B », l'NNH dans la cédraie- chénaie occupe la première place. Dans l'horizon « Bt », la cédraie- chénaie et cédraie à thurifère sont classées en premier et dans le « C » il y a égalité des teneurs dans les trois stations (cédraie pure, cédraie- chénaie et cédraie à thurifère). (Voir tableau N°21).

Pour l'horizon « A1 », la deuxième place revient à la clairière, la troisième à la cédraie pure et la dernière à la cédraie à thurifère. (Voir tableau N°21).

Dans l'horizon « A2 », la cédraie pure est en deuxième position, alors que la clairière est troisième et la cédraie à thurifère est en quatrième position. (Voir tableau N°21).

Pour le « B » la cédraie à thurifère est deuxième, la cédraie pure est troisième et la clairière est dernière. La même chose est notée pour l'horizon « Bt » où, la cédraie pure est deuxième après la cédraie- chénaie et cédraie à thurifère en première place, et la clairière est en dernière position. (Voir tableau N°21).

L'NNH est inexistant dans l'horizon « C » de la clairière, il occupe la deuxième et dernière place après la cédraie pure, cédraie- chénaie et cédraie à thurifère qui sont en première place. (Voir tableau N°21).

D'une façon générale, on peut admettre que l'effet favorable des litières mixtes sous la cédraie- chénaie se traduit par un enrichissement du sol en composés azotés et protéiques et une augmentation du pool d'azote résistant à l'acidolyse.

D'après BARIUSSO et al., (1990), ce sont les formation colloïdales organo-minérales qui semblent contenir les constituants les plus condensés et

induisant la formation de complexes stables. Ceci peut s'expliquer par une augmentation du taux d'azote non hydrolysable et une plus grande résistance des chaînes hydrolysables.

Ces mêmes chercheurs signalèrent qu'un taux de 10 à 30% de l'azote environ n'est pas hydrolysable après une hydrolyse acide d'un sol brun humifère.

Nos résultats sont aussi en concordance avec ceux de SHNITZER, (1981) qui avait montré que l'azote organique hydrolysable total présente plus de 80% de l'azote total.

Concernant les effets station et type de station, il y a une différence significative statistiquement entre les teneurs de l'azote non hydrolysable dans les différentes stations étudiées.

Tableau N° 21 : Comparaison des résultats de l'azote non hydrolysable dans les différentes stations étudiées.

Horizons	Nnh CI %	Nnh C %	Nnh CCh %	Nnh CTh %
A1	0,34	0,13	0,16	0,19
A2	0,09	0,10	0,11	0,12
B	0,03	0,05	0,06	0,11
Bt	0,02	0,04	0,02	0,07
C	0,01	0,02	-	0,06

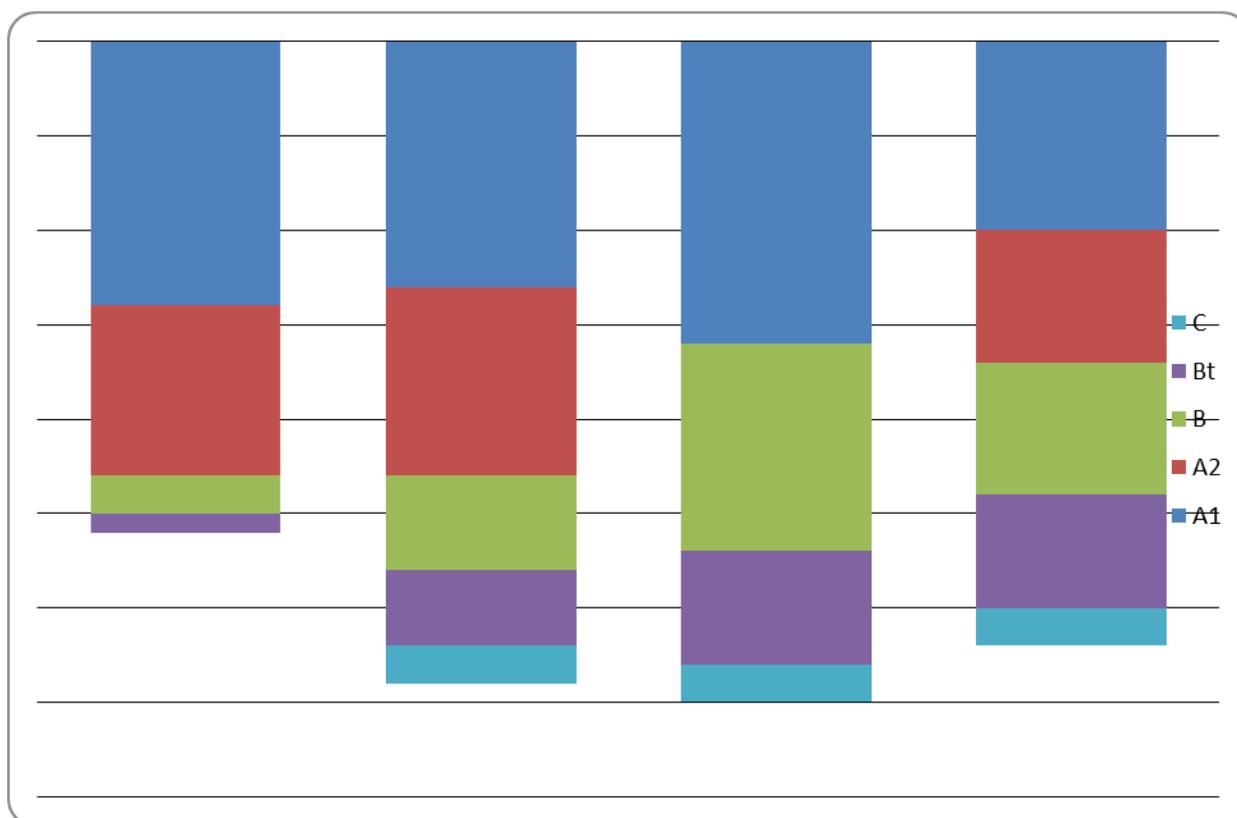


Fig.36: Comparaison de la distribution de l'azote non hydrolysable dans les sols des différentes stations étudiées.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Dans le but de faire ressortir l'effet de la couverture forestière sur la disponibilité de l'azote dans les sols et afin d'identifier un indicateur de prévision de la fourniture d'azote aux arbres et aux semis de cèdre, nous avons étudié la distribution des différentes fractions de l'azote ; minérales (ammoniacal et nitrique) et organiques (hydrolysable distillable, hydrolysable non distillable et non hydrolysable) dans trois profils pédologiques choisies dans trois stations forestières à cèdre de l'Atlas (cédraie pure, cédraie- chênaie et cédraie- thuriferaie).

Pour cela nous avons utilisé trois méthodes permettant de caractériser l'azote du sol. Trois tests chimiques (méthode Kjeldahl, extraction de l'azote par une solution de K_2SO_4 (N) ou KCl (N), le fractionnement de l'azote par hydrolyse acide) ont été appliqués à un sol fersiallitique brunifié du CHÉLIA (W. KHENCHELA)

Cette présente étude révèle généralement qu'en présence de couverture forestière, la disponibilité des différentes fractions de l'azote est appréciable, et ce dans tous les horizons.

Dans les conditions analytiques adoptées, nous enregistrons au vu des résultats obtenus des taux d'azote total importants dans la cédraie- chênaie, par rapport aux autres stations étudiées.

Il semble que la nature « améliorante » des litières mixtes de cèdre- chène composées essentiellement de substances hydrolysables (sucres acides aminés...) est à l'origine de l'effet positif sur les processus de minéralisation et réorganisation, car les deux sont fortement liés (MANGENOT et TOUTAIN in PESSON, 1980).

Cette étude montre aussi que l'azote minéral est présent en quantités peu importantes par rapport à l'azote organique qui présente plus de 90% de l'azote total, et ce dans toutes les stations étudiées. Ainsi, l'azote minéral présente des teneurs un peu élevés par rapport aux autres stations. Nos résultats sont en conformité avec ceux de REVERSAT, (1974) L'azote minéral est très faible, sa répartition dans les horizons

superficiels est faible à très faible ou même négligeable dans les horizons profonds surtout en saison pluvieuse.

En ce qui concerne les teneurs des fractions de l'azote minéral, nous observons dans les conditions analytiques des quantités de l'azote nitrique généralement plus importantes que les quantités de l'azote ammoniacal.

L'azote nitrique représente des teneurs élevés dans la cédraie chênaie par rapport aux autres stations. Toutefois, l'azote ammoniacal représente des teneurs élevées dans la cédraie-chênaie comparativement aux autres stations ; Nous notant que l'azote ammoniacal dans la station cédraie-thuriferaie est quasiment négligeable dans tout le profil.

Conformément à nos résultats, REVERSAT, (1973) avait remarqué dans les sols de la forêt tropicale humide que l'azote ammoniacal se trouve principalement dans les trois premiers centimètres du sol ; l'azote nitrique, moins abondant dans l'horizon 0-3 cm que l'azote ammoniacal, diminue également dans les horizons inférieurs, mais relativement moins rapidement.

La teneur du sol en azote minéral dépend de la quantité d'azote minéralisé, de son utilisation par la microflore et la végétation et des quantités lessivées. (JANG, 1970).

D'autre part, pour les autres fractions organiques de l'azote, cette étude montre que la forme hydrolysable de l'azote organique dépasse toujours la forme non hydrolysable. Ainsi il y avait prédominance de la fraction hydrolysable distillable par rapport aux autres fractions et ce dans toutes les stations étudiées. Ces résultats sont en concordance avec ceux de BOUNOUARA (1996).

D'une façon générale, l'azote hydrolysable distillable est très abondant dans l'horizon A1 du témoin, et il est moins abondant dans la cédraie- chênaie. En profondeur cette fraction est négligeable dans ces dernières et remarquable dans la cédraie- pure et la cédraie-thuriferaie.

La fraction hydrolysable non distillable de l'azote organique est considérable dans les horizons de la cédraie-chênaie, dans la cédraie pure cette fraction présente aussi des teneurs remarquables mais moins

abondantes que dans la cédraie-chênaie. Cette fraction représente le siège biologique où s'établissent les processus d'organisation et de reminéralisation.

Pour la fraction non hydrolysable de l'azote organique, nous remarquons une prédominance dans la cédraie-chênaie au niveau des horizons de surface et de profondeur.

D'après BARRIUSO et ses collaborateurs (1990), ce sont les formations colloïdales organo-minérales qui semblent contenir les constituants les plus condensés et induisent la formation de complexes stables ; ceci se traduit par une augmentation de l'azote non hydrolysable.

Les retombés biologiques des résineux contiennent d'après DOMMERGUES et MANGENOT, (1970) des substances fortement inhibitrices vis-à-vis de la microflore bactérienne immobilisatrice de l'azote.

Par ailleurs, l'influence défavorable des litières acidifiantes sur les microflores des sols telle qu'elle fût noté par BAUZON, et al.,(1968), BECK et al (1969) ne se fait pas d'une manière exclusive sur la microflore minéralisatrice mais aussi sur la microflore réorganisatrice de l'azote.

En outre, la richesse des litières en produits tannants difficilement biodégradables (lignine et tannins) des litières forestières de résineux explique, en partie, la difficulté rencontrée par les microorganismes dans la minéralisation de la matière organique, et c'est plutôt le processus d'immobilisation qui l'emporte (DOMMERGUES et MANGENOT, 1970).

De tels résultats confirment l'intérêt de la mixité des essences en foresterie. Ainsi les litières mixtes dites améliorantes ont un effet positif sur la fertilité chimique des sols, et plus précisément sur la disponibilité de l'azote dans le sol. En apportant des substances hydrolysables, ces dernières stimulent les germes responsables du processus de réorganisation en particulier, car les taux d'azote minéral dans toutes les stations étudiées sont faibles que ce soit en surface ou en profondeur.

De ce fait, les litières et plus particulièrement celles mixtes ont l'avantage d'enrichir le sol en matière organique, et par conséquent d'azote hydrolysable potentiellement.

Compte tenu de leur action très favorable dans les sols forestiers, il est alors impératif d'intensifier les reboisements mixtes ; les conséquences sur la fertilité des sols et sur le pool d'azote se traduisent à court terme par une amélioration des taux d'azote assimilable et d'azote hydrolysable, et à long terme par une augmentation des teneurs d'azote stable (azote non hydrolysable).

L'étude réalisée a apporté des réponses partielles sur le potentiel en azote organique des sols sous cédraies, c'est pourquoi, il nous semble utile de compléter ce travail en réalisant de nouvelles études relatives au comportement végétal des semis de cèdre sous ces différentes couvertures forestières, et aux travaux de quantification de ces fractions d'azote en utilisant d'autres méthodes analytique, notamment isotopiques. Il serait aussi intéressant d'effectuer une modélisation pour la distribution de ces fractions dans les sols forestiers... il est aussi impératif d'orienter nos études vers des travaux de terrain afin de déterminer l'effet combiné d'autres facteurs influençant la distribution de l'azote dans les sols forestiers (climat, roche mère, végétation,).

Sur le plan analytique, il est nécessaire ainsi d'orienter nos investigations pour développer une meilleure méthode de fractionnement d'azote organique pour bien identifier les formes d'azote organique et leur origine, ceci passe par l'utilisation de technique d'hydrolyse acide en système ouvert ou en acidolyse successive à longue durée (JANEL et al., 1978). Cette méthode rendrait minimales les inconvénients des autres techniques, et contribuerait à une meilleure connaissance des formes d'azote présentes dans les débris végétaux ou les matières organiques du sol en cours de décomposition.

LES ANNEXES :

ANNEXE N° 01 :

Résultats en % Clairière

Horizons	NT%	NO3%	NH4%	NMT%	NHD%	NHND%	NHT%	NNH%	NOT%
A1	0,76	0,10	0,06	0,16	0,21	0,05	0,26	0,34	0,60
A2	0,34	0,09	0,05	0,14	0,08	0,03	0,11	0,09	0,20
B	0,12	0,04	0,02	0,06	0,01	0,02	0,03	0,03	0,06
Bt	0,06	0,02	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,02	0,03
C	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02

ANNEXE N° 02 :

Résultats en % Cédraie pure

Horizons	NT%	NO3%	NH4%	NMT%	NHD%	NHND%	NHT%	NNH%	NOT%
A1	0,46	0,02	0,04	0,06	0,19	0,08	0,27	0,13	0,40
A2	0,39	0,02	0,02	0,04	0,18	0,07	0,25	0,10	0,35
B	0,28	0,01	0,01	0,02	0,17	0,04	0,21	0,05	0,26
Bt	0,18	0,00	0,00	0,00	0,13	0,01	0,14	0,04	0,18
C	0,13	0,00	0,00	0,00	0,10	0,01	0,11	0,02	0,13

ANNEXE N° 03

Résultats en % Cédraie Chênaie

Horizons	NT%	NO3%	NH4%	NMT%	NHD%	NHND%	NHT%	NNH%	NOT%
A1	0,70	0,07	0,07	0,14	0,30	0,10	0,40	0,16	0,56
B	0,35	0,04	0,03	0,07	0,11	0,06	0,17	0,11	0,28
Bt	0,18	0,03	0,00	0,03	0,07	0,02	0,09	0,06	0,15
C	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,04	0,02	0,06

ANNEXE N° 04

Résultats en % Cédraie thuriferaie

Horizons	NT%	NO3%	NH4%	NMT%	NHD%	NHND%	NHT%	NNH%	NOT%
A1	0,35	0,01	0,02	0,03	0,10	0,03	0,13	0,19	0,32
A2	0,23	0,01	0,01	0,02	0,07	0,02	0,09	0,12	0,21
B	0,21	0,01	0,00	0,01	0,07	0,02	0,09	0,11	0,20
Bt	0,16	0,01	0,00	0,01	0,06	0,02	0,08	0,07	0,15
C	0,09	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,06	0,09

LISTE DES ABREVIATIONS

NT	: Azote Total
NMT	: Azote minéral Total
NOT	: Azote organique total
NHD	: Azote Hydrolysable distillable
NHND	: Azote hydrolysable non distillable
NNH	: Azote non hydrolysable
GP Aurès ONTF	: Grand projet Aurès (Office national des travaux forestiers)
Nmt cl	: Azote minéral total dans la clairière (pelouse)
Nmt cp	: Azote minéral total dans la cédraie pure
Nmt cch	: Azote minéral total dans la cédraie chênaie
Nmt cth	: Azote minéral total dans la cédraie thuriferaie
Not cl	: Azote organique total dans la clairière (pelouse)
Not cp	: Azote organique total dans la cédraie pure
Not cch	: Azote organique total dans la cédraie chênaie
Not cth	: Azote organique total dans la cédraie thuriferaie
NO3 cl	: Azote nitrique dans la clairière. (pelouse)
NO3 cp	: Azote nitrique dans la cédraie pure
NO3 cch	: Azote nitrique dans la cédraie chênaie
NO3 cth	: Azote nitrique dans la cédraie thuriferaie
NH4 cl	: Azote ammoniacal dans la clairière (pelouse)
NH4 cp	: Azote ammoniacal dans la cédraie pure
NH4 cch	: Azote ammoniacal dans la cédraie chênaie
NH4 cth	: Azote ammoniacal dans la cédraie thuriferaie

Nhd cl	: Azote hydrolysable distillable dans la clairière (pelouse)
Nhd cp	: Azote hydrolysable distillable dans la cédraie pure
Nhd cch	: Azote hydrolysable distillable dans la cédraie chênaie
Nhd cth	: Azote hydrolysable distillable dans la cédraie thuriferaie
Nhnd cl	: Azote hydrolysable non distillable dans la clairière (pelouse)
Nhnd cp	: Azote hydrolysable non distillable dans la cédraie pure
Nhnd cch	: Azote hydrolysable non distillable dans la cédraie chênaie
Nhnd cth	: Azote hydrolysable non distillable dans la cédraie thuriferaie
Nnh cl	: Azote non hydrolysable dans la clairière (pelouse)
Nnh cp	: Azote non hydrolysable dans la cédraie pure
Nnh cch	: Azote non hydrolysable dans la cédraie chênaie
Nnh cth	: Azote non hydrolysable dans la cédraie thuriferaie

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 01	Précipitations mensuelles moyennes enregistrées à la	46
Tableau 02	Précipitation extrapolées en fonction de l'altitude.	46
Tableau 03	Valeurs moyennes des températures maximales (M) et minimales (m) station de Bouhmama (1992-2000) (D'après KHERCHOUCHE, 2003).	47
Tableau 04	Températures moyennes mensuelles extrapolées en fonction de l'altitude.	47
Tableau 05	Tableau présentant les résultats des analyses préliminaires des sols des différents profils effectués sur le terrain.	65
Tableau 06	Résultats des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie pure.	78
Tableau 07	Résultats des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie pure.	81
Tableau 08	Résultats des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie pure.	86
Tableau 09	: Résultats des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie- Chênaie.	91
Tableau 10	Résultats des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie Chênaie.	95
Tableau 11	Résultats des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie- Chênaie.	99
Tableau 12	Résultats des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie à thurifère.	103
Tableau 13	Résultats des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie à thurifère.	106
Tableau 14	Résultats des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie à thurifère.	110
Tableau 15	Comparaison des résultats de l'azote minéral total dans les différentes stations étudiées.	113
Tableau 16	Comparaison des résultats de l'azote organique total dans les différentes stations étudiées.	117
Tableau 17	Comparaison des résultats de l'azote nitrique dans les différentes stations étudiées.	120
Tableau 18	Comparaison des résultats de l'azote ammoniacal dans les différentes stations étudiées.	123
Tableau 19	Comparaison des résultats de l'azote hydrolysable	126

	distillable dans les différentes stations étudiées.	
Tableau 20	Comparaison des résultats de l'azote hydrolysable non distillable dans les différentes stations étudiées.	129
Tableau 21	Comparaison des résultats de l'azote non hydrolysable dans les différentes stations étudiées.	132

Liste des figures :

N°	Titre	Page
Fig.01	Répartition des cédraies en Algérie. Source : <i>A.NEDJAH</i> <i>et O. ZANNDUCHE INRF</i> . Echelle : 1/500 000.	07
Fig.02	Présentation du cycle biogéochimique en forêt.	17
Fig. 03	Cycle de l'Azote dans un écosystème forestier	33
Fig.04	Dynamique de minéralisation de l'azote dans le sol.	38
Fig.05	Localisation de la Zone d'étude Dj. CHELIA. Extrait de la carte touristique du nord de l'Algérie. 1/500 00	42
Fig.06	Situation des Stations d'étude «Zone de CHELIA» Extrait de la carte topographique C.E.M <i>Échelle 1/50 000</i> .	43
Fig.07	Extrait de la Carte Géologique ALGERIE NORD-EST Échelle 1/500 000 « Zone de CHELIA »	44
Fig.08	Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN ET BAGNOULS.	49
Fig.09	CLIMAGRAMME D'EMBERGER « Zone d'étude ».	50
Fig. 10	Photo présentant la station témoin : la pelouse forestière (clairière).	55
Fig.11	Photos présentant les espèces présentes dans la pelouse	56
Fig.12	photo présentant le profil pédologique réalisé dans la station forestière1: la clairière.	57
Fig. 13	Photo présentant la station cédraie pure.	58
Fig.14	photo présentant le profil pédologique réalisé dans la station forestière2: la cédraie pure	59
Fig. 15	Photo présentant la station cédraie-Chênaie.	60
Fig.16	photo présentant le profil pédologique réalisé dans la station forestière3: la cédraie- chênaie	61
Fig. 17	Photo présentant la station cédraie-Thuriferaie.	62
Fig.18	photo présentant le profil pédologique réalisé dans la station forestière1: la Cédraie- Thuriferaie	63
Fig.19	Photo présentant le dispositif expérimental (système à reflux) utilisé pour l'hydrolyse acide.	70
Fig.20	Schéma représentant les différentes fractions de l'azote organique déterminées par hydrolyse acide.	72
Fig.21	Distribution des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie pure.	78
Fig.22	Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie pure.	81
Fig.23	Distribution des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie pure.	86
Fig.24	Distribution des fractions de l'azote total dans les sols de la cédraie- chênaie.	91

Fig.25	Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie- chénaie.	95
Fig.26	Effet de la couverture forestière de type cédraie- chénaie sur l'azote organique dans le sol.	99
Fig.27	Distribution des formes de l'azote total dans les sols de la cédraie à thurifère.	103
Fig.28	Distribution des fractions de l'azote minéral dans les sols de la cédraie à thurifère.	106
Fig.29	Distribution des fractions de l'azote organique dans les sols de la cédraie à thurifère.	110
Fig.30	Comparaison de la distribution de l'azote minéral total dans les sols des différentes stations étudiées.	113
Fig.31	Comparaison de la distribution de l'azote organique total dans les sols des différentes stations étudiées.	117
Fig.32	Comparaison de la distribution de l'azote nitrique dans les sols des différentes stations étudiées.	120
Fig.33	Comparaison de la distribution de l'azote ammoniacal dans les sols des différentes stations étudiées.	123
Fig.34	Comparaison de la distribution de l'azote hydrolysable distillable dans les sols des différentes stations étudiées.	126
Fig.35	Comparaison de la distribution de l'azote hydrolysable non distillable dans les sols des différentes stations étudiées.	129
Fig.36	Comparaison de la distribution de l'azote non hydrolysable dans les sols des différentes stations étudiées.	132

Résumé :

La distribution des formes d'azote (organiques et minérales) a été étudiée dans quatre stations forestières du Chélia (W de Khenchela) ; une pelouse forestière (clairière), une cédraie pure, une cédraie- chênaie et une cédraie à genévrier thurifère.

Afin d'évaluer le pool d'azote dans ces sols, nous avons utilisé trois méthodes (méthode kjelahl pour l'azote total, extraction de l'azote nitrique et ammoniacal par une solution de K₂SO₄ (N) et le fractionnement de l'azote organique par hydrolyse acide).

Cette étude montre que l'azote total est plus important dans la cédraie- chênaie. L'azote minéral est moins important que l'azote organique. Les quantités d'azote nitrique sont plus importantes que celles de l'azote ammoniacal.

Pour les fractions organiques ; la forme hydrolysable de l'azote organique est plus importante que la forma non hydrolysable, et la fraction hydrolysable distillable prédomine les autres fractions et ce dans toutes les stations étudiées.

Mots clés : Types de cédraies, formes d'azote (minérales et organiques), sols forestiers de Chélia.

ملخص:

تمت دراسة توزيع اشكال الأزوت المعدنية و العضوية في اربع محطات غابية لسلسلة جبال شيليا (ولاية خنشلة) ، و المتمثلة في مرجة غابية، غابة وحيدة النوع الغابي (ارز اطلسي)، غابتين ثنائية النوع الغابي (ارز اطلسي+ بلوط اخضر، ارز اطلسي+ عرعار).

من اجل تقييم مخزون الازوت العضوي و تأثير ذلك على الإنتاج الغابي استعملنا ثلاث طرق (طريقة كجدال لتحليل الأزوت الكلي، محلول كبريتات البوتاسيوم لتحليل الأزوت المعدني، تجزئة الأزوت العضوي بالتحليل في حمض كلور الماء).

بينت هذه الدراسة ان كمية الأزوت الكلي في غابة (ارز اطلسي+ بلوط اخضر) هي الاكبر مقارنة بالمحطات الغابية الأخرى، كما ان كمية الأزوت المعدني اقل من كمية الأزوت العضوي، و ان كمية أزوت النتريك اكبر من كمية أزوت الامونياك.

بالنسبة لأجزاء الأزوت العضوي، نلاحظ أن نسبة الأزوت القابل للتحليل بالحمض أكبر من نسبة الأزوت الغير قابل لذلك، وأن نسبة الأزوت القابل للتحليل بالحمض و التقطير أكبر من كل الأجزاء الأخرى للأزوت العضوي، و هذا في كل المحطات الغابية المدروسة.

الكلمات المفتاحية: محطات غابية للأرز الأطلسي، أشكال الأزوت المعدنية و العضوية، أتربة غابية لجبل شيليا.

Abstract:

The distribution of nitrogen forms (organic and mineral) was studied in four forest stations of Chelia Mountain (department of Khenchela): forest lawn station, Atlas cedar station, Cedar- green Oak station, and Cedar- juniper thurifera station.

In order to monitor nitrogen pools in these soils, we have used three analysis methods (KJELDHAL method for total nitrogen, nitric and amoniactal nitrogen extraction with k₂SO₄ (1N) solution and organic nitrogen analysis with acid hydrolyze).

In this study we have obtained the following results: the total nitrogen is more important in the (cedar- Oak statioqn) then the other studied forest stations. Mineral nitrogen is less important than organic nitrogen and the nitric nitrogen is more important than amoniactal nitrogen.

The hydrolysable organic nitrogen is more important than unhydrolisable fraction and the hydrolysable distillable organic nitrogen is the most important organic fraction in all forest stations.

Key-Words: forest cedar stations, nitrogen forms (organic, mineral), Chelia forest soils.