REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHECHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE EL HADJ LAKHDAR – BATNA

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MEMOIRE

Présenté par : M^me^ SMAIHI Amal-Hassina

Pour l'obtention du diplôme de Magister en Sciences Agronomiques

Spécialité : Foresterie

Sujet

INFLUENCE DU TYPE DE PINERAIES (PINERAIE, PINERAIE CHENAIE) SUR LA MOBILISATION DE N, P ET LE COMPORTEMENT DE PLANTULES DE PIN D'ALEP DANS DES SOLS FORESTIERS DE LA REGION DE BATNA

Soutenu publiquement : le 29 juin 2009 **Devant le jury :**

B. OUDJEHIH	**Professeur, Université de Batna**	**Président**
H. MESSAADIA	**Chargé de cours, Université de Batna**	**Rapporteur**
A. BENTOUATI	**Maître de conférence, Université de Batna**	**Examinateur**
H. SIDI HACHMI	**Maître de conférence, Université de Bejaia**	**Examinateur**

2008 - 2009

REMERCIEMENT

Je tiens à exprimer, au terme de ce travail de magister en sciences forestières, mes remerciements à toutes les personnes qui ont de près ou de loin, contribué à la réalisation de cette étude, en particulier :

- J'adresse mes plus vifs remerciements à M^{r} Hocine MESSAADIA, docteur en science et chargé de cours de pédologie et de biologie du sol à l'université de Batna pour la confiance qu'il a placée en moi et pour aussi avoir accepter de diriger ce travail durant toutes les phases de sa réalisation,

- J'exprime ma reconnaissance à M^{r} Bachir OUDJEHIH, professeur à l'université de Batna, pour avoir accepté présider le jury, et pour sa disponibilité sans faille quand il est sollicité par les étudiants,

- Je me dois tout autant de remercier M^{r} Abdallah BENTOUATI, maître de conférences à l'université de Batna, pour avoir accepté d'examiner ce travail de magister et pour avoir été mon promoteur dans le cadre de l'ingéniorat,

- J'exprime aussi ma reconnaissance à M^{r} SIDI HACHMI, maître de conférences à l'université de Bejaia pour avoir accepté de faire partie du jury et de juger ce travail,

Sans oublier de remercier tout le personnel des laboratoires du département d'agronomie,

J'adresse aussi, mes plus vifs remerciements à mes parents, mon mari, ma famille, ma belle famille, mes amies et mes collègues, pour leurs encouragements et leur soutien.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LA PIN D'ALEP EN ALGERIE

1.1- GENERALITES SUR LE PIN D'ALEP 1

1.1.1- Taxonomie 1

1.1.2- Caractères dendrométriques et forestiers du pin d'Alep 1

1.1.3- Répartition du pin d'Alep dans le monde 2

1.1.4- Répartition du pin d'Alep en Algérie ……. 3

1.1.5- Les sols des pinèdes…… 4

1.1.6- La croissance du pin d'Alep…… 4

1.2- LES ZONES FORESTIERES À PIN D'ALEP EN ALGERIE……. 5

1.2.1- Zone du littoral et du sublittoral…….. 5

1.2.2- Zone du tell…….. 6

1.2.3- Zone subsaharienne……. 7

1.2.4- Zone de l'AURES-NEMEMCHA…….. 8

CHAPITRE II

CROISSANCE ET MINERALOMASSE VEGETALE

2.1- COMPOSITION MINERALE DES VEGETAUX…… 10

2.2- LES PRINCIPAUX ELEMENTS…….. 10

2.2.1- L'Azote…… 10

2.2.2- Le phosphore …….. 11

CHAPITRE III

MATIERE ORGANIQUE ET DYNAMIQUES DE N, P DANS LE SOL

3.1- LA MATIERE ORGANIQUE…….. 13

3.1.1- La Matière organique et ses fonctions……. 13

3.1.2- La litière ……. 14

3.2- L'AZOTE DANS LE SOL ……..... 17

3.2.1- Les formes de l'azote dans le sol……. 17

3.2.2- Les biotransformations de l'azote dans le sol……. 19

3.3- LE PHOSPHORE DANS LE SOL……. 22

3.3.1- Etat du phosphore dans le sol …… 23

3.3.2- L'adsorption du phosphore sur les constituants du sol…… 24

3.3.3- Les surfaces réactives vis-à-vis des ions phosphates…….. 24
3.3.4- Les facteurs influençant la disponibilité du phosphore……. 25
3.4- LES SOLS CALCAIRES……... 26
3.4.1- Origine, héritage et néoformation du calcaire……. 27
3.4.2- L'altération des roches calcaires …… 27
3.4.3- Caractéristiques des sols calcaires…….. 28
3.4.4- Décarbonatation et évolution pédologique des sols calcaires……. 28
3.4.5- La dissolution des carbonates et le transfert du calcium……. 29
3.4.6- Présence du calcaire et nutrition des arbres……. 29
3.4.7 Rôle du calcium……..... 30

DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE I

MATERIELS ET METHODES

1.1- LOCALISATION ET CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE ……. 31
1.2- MATERIEL D'ETUDE……. 34
1.2.1- les sols …… 34
1.2.2- les litières……. 35
1.2.3- la plante test …… 35
1.2.4- Les pots de végétation …… 35
1.3- METHODOLOGIE EXPERIMENTALE……. 35
1.3.1Objectif…….. 35
1.3.2- Description du dispositif expérimental……... 35
1.3.3- Mise en culture ……... 39
1.3.4- Irrigation ……. 39
1.3.5- Conditions et durée de l'expérimentation…… 39
13.6- Prélèvement des échantillons de sol et du végétal…… 40
1.4- MESURES ET ANALYSES EFFECTUEES …… 41
1.4.1- Substrat…… 41
1.4.2- Caractéristiques morphométriques et chimiques des plantules de pin d'Alep…… 41
1.5- TECHNIQUES D'ANALYSE …….. 41

CHAPITRE II

RESULTATS ET DISCSSIONS

2.1- INFLUENCE DU TYPE DE PINERAIES SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS EXPERIMENTAUX……. 43

2.2- INFLUENCE DU TYPE DE PINERAIES SUR LES QUANTITES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE…….. 44
2.2.1- Effet du type de pineraies sur les quantités d'azote et de phosphore dans les systèmes expérimentaux : sols - litières ……..... 44
2.2.2 - Effet du type de pineraie sur les quantités d'azote et de phosphore dans les systèmes expérimentaux : sols - litières – plantules de pin……. 46
2.3 EFFET DU TYPE DE PINERAIES SUR LA DYNAMIQUE DES ELEMENTS CHIMIQUES N, P DANS LES SOLS EXPERIMENTAUX……. 49
2.3.1- Effet sur la dynamique des éléments N et P dans les systèmes expérimentaux : sols – litières……. 49
2.3.2- Effet sur la dynamique des éléments N, P, dans les systèmes expérimentaux : sols – litières – plantules de pin……. 52
2.4- INFLUENCE DU TYPE DE PINERAIE SUR LES CARACTERISTIQUES DES PLANTULES DE PIN D'ALEP…… 56
2.4.1 Effet du type de pineraies sur les caractères morphométriques de plantules de pin d'Alep…… 56
2.4.2- Effet du type de pineraie sur les biomasses végétales aérienne et souterraine des plantules … 61
2.4.3- Effet du type de pineraie sur les prélèvements (N, P, K) par les plantules ……. 63
2.5 EFFET DU TYPE DE PINERAIE SUR LA DYNAMIQUE DE CERTAINES CARACTERISTIQUES DES PLANTULES DE PIN …… 66
2.5.1 Effet du type de pineraies sur la dynamique des caractères morphométriques de plantules de pin d'Alep …… 66
2.5.2- Effet sur la l'évolution de la biomasse végétale ……. 70
2.5.3- Effet sur la dynamique de la minéralomasse végétale …… 73

CONCLUSION GENERALE
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
ANNEXE

LISTE DES TABLEAUX

Etude bibliographique

Chapitre I

Tableau 01: Systématique du sous-genre *Pinus* 01

Tableau 02: Caractéristiques biologiques et mophologiques de quatre espèces de pin 05

Chapitre III

Tableau 03: Les rôles de la matière organique 13

Tableau 04: Apport annuel d'éléments nutritifs (N, P, K, Ca, Mg) (en kg/ha) 16

Tableau 05: Teneur en $CaCO_3$ 28

Etude expérimentale

Chapitre I

Tableau 06: Détermination de la dose d'irrigation 39

Tableau 07 : nombre des échantillons de sols 40

Tableau 08 : nombre des plants utilisés 40

Chapitre II

Tableau 09: Caractéristiques physiques et chimiques des sols étudiés 44

Tableau 10 **:** Teneurs en azote et phosphore dans le système sol - litière 46

Tableau 11 **:** Etude de la mobilisation de l'azote et du phosphore assimilables dans le système sol - litière : Analyse de la variance 46

Tableau 12 : Détermination des groupes homogènes de station par la teneur en azote et en phosphore 46

Tableau 13 : Teneurs en azote et phosphore dans le système sol – litière -plantule 47

Tableau 14 : Etude de la minéralisation de l'azote assimilable dans le système sol - litière : Analyse de la variance 50

Tableau 15 : Détermination des groupes homogènes de station par la teneur en azote 51

Tableau 16 : Etude de la minéralisation du phosphore assimilables dans le système sol - litière: Analyse de la variance 52

Tableau 17 : Etude de la minéralisation de l'azote assimilables dans le système sol – litière - plantule : Analyse de la variance 54

Tableau 18 : Détermination des groupes homogènes de station par la teneur en azote 54

Tableau 19 : Comparaison du nombre d'aiguilles de jeunes plants de 12 mois cultivés sur des substrats de différents stations : clairière, pineraie et sol de pineraie à chêne vert 57

Tableau 20 : Etude des paramètres morphométriques : nombre d'aiguilles (Analyse de la variance) 57

Tableau 21 : Détermination des groupes homogènes : nombre d'aiguilles 57

Tableau 22: Comparaison de la hauteur aérienne de jeunes plants de 12 mois cultivés sur des substrats de différents stations : pineraie à chêne vert, pineraie et clairière 58

Tableau 23 : Etude du paramètres morphométrique croissance aérienne : Analyse de la variance 58
Tableau 24 : Détermination des groupes homogènes de station de la croissance en hauteur 58
Tableau 25 : Comparaison de la longueur totale des racines des jeunes plants de 12 mois cultivés sur différents substrats : sol de clairière, sol de pinède et sol de pinède à chêne vert 59
Tableau 26 : Etude du paramètres morphométrique longueur racinaire: Analyse de la variance 60
Tableau 27 : Détermination des groupes homogènes de station de la croissance en hauteur 60
Tableau 28 : Comparaison du diamètre au collet de jeunes plants de 12 mois cultivés sur différents stations : clairière, pineraie et pineraie à chêne vert 61
Tableau 29 : Etude du paramètre diamètre au collet : Analyse de la variance 61
Tableau 30 : Détermination des groupes homogènes par le diamètre au collet 61
Tableau 31 : Caractéristiques pondérales des jeunes plants de 12 mois cultivés sur sol de clairière, sol de pineraie et sol de pineraie à chêne vert 62
Tableau 32 : Etude des paramètres pondéraux (matière sèche aérienne**,** matière sèche des racines) : Analyse de la variance 62
Tableau 33 : Détermination des groupes homogènes de station par la matière sèche aérienne et la matière sèche des racines 63
Tableau 34 : Teneurs en éléments N, P, K des plants de pin d'Alep après 12 mois d'expérimentation 64
Tableau 35 : Etude du paramètre « nombre d'aiguilles » : Analyse de la variance 67
Tableau 36 : Détermination des groupes homogènes de station par le nombre d'aiguilles. 67
Tableau 37 : Etude du paramètres morphométrique croissance en hauteur : Analyse de la variance 69
Tableau 38 : Etude du paramètre « croissance radiale » : Analyse de la variance 70
Tableau 39 : Détermination des groupes homogènes de station par la longueur des racines 70
Tableau 40 : Etude du paramètre « biomasse aérienne » : Analyse de la variance 72
Tableau 41 : Détermination des groupes homogènes de station par la biomasse aérienne 72
Tableau 42: Etude du paramètre « Azote » : Analyse de la variance 74
Tableau 43 : Etude du paramètre « Phosphore » : Analyse de la variance 75

LISTE DES FIGURES

Etude bibliographique

Chapitre I

Figure 01: Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie 03

Chapitre III

Figure 02 : Effet litière sur l'activité microbienne du sol 14

Etude expérimentale

Chapitre I

Figure 03 : Situation géographique de la forêt de Djerma 31
Figure 04 : Esquisse des couverts végétaux du Parc National de Belezma 33
Figure 05 : Systèmes expérimentaux sols - litières 37
Figure 06 : Systèmes expérimentaux sols – litières - plantes 38

Chapitre II

Figure 07 : Evolution de la teneur en azote minérale (en ppm) du sol-litière en fonction du temps 50
Figure 08 : Evolution de la teneur en phosphore assimilable du sol-litière en fonction du temps 52
Figure 09 : Evolution de la teneur en azote minérale (en ppm) dans le système sol – litière - plantule en fonction du temps 53
Figure 10 : Evolution de la teneur en phosphore assimilable (ppm) dans le système sol – litière - plantule en fonction du temps 55
Figure 11 : évolution du nombre d'aiguilles des jeunes plantules de pin d'Alep 67
Figure 12 : dynamique de la croissance en hauteur (en cm) des jeunes plants de pin 68
Figure 13: la longueur des racines (en cm) des jeunes plants dans le temps 70
Figure 14 : Evolution de la quantité de matière sèche aérienne (g/plant) en fonction du temps 71
Figure 15 : Evolution de la quantité de matière sèche racinaire (g/plant) produite en fonction du temps 73
Figure 16: Evolution de la teneur en azote par les plants (en %) pour les différents traitement en fonction du temps 74
Figure 17: Evolution de la teneur en phosphore (en %) pour les différents traitement en fonction du temps 75

Introduction

Dans les écosystèmes forestiers, les peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) constituent une composante majeure des surfaces forestières méditerranéennes. Cependant, le renouvellement de ces peuplements arrivés à maturité est difficile pour cette espèce en raison d'une faible régénération observée dans différentes stations forestières (Prevosto et al, 2007).

Ainsi, cette essence forestière revêt une importance particulière en raison, tout d'abord de l'importance de la surface qu'elle recouvre (800.000 ha), représentant environ 35 % des surfaces boisées de l'Algérie du Nord (Mezali in Bentouati, 2006), mais aussi, d'une plasticité très remarquable en région méditerranéenne lui permettant de coloniser différents substrats minéraux en particulier les calcaires. Différentes investigations relatives aux relations sols - peuplements ont généralement révélé que cette essence se développe sur des sols à horizon d'accumulation calcaire (Chakroum, 1986), dont l'étude en Algérie a fait par ailleurs l'objet de nombreuses recherches (Pouget, 1980; Djili, 1983 et 2000; Halitim 1983 et 1988). Ces sols qui contiennent du calcaire en quantité plus ou moins élevée dans un ou plusieurs horizons, sauf exception, se distribuent d'une manière plus ou moins homogène sur l'ensemble du Nord de l'Algérie, particulièrement dans les étages bioclimatiques semi-aride et aride. Ces sols et d'autres types pédologiques caractérisent le plus souvent différents écosystèmes forestiers qui connaissent de sérieux problèmes de régénération et de production de peuplements.

Actuellement, les préoccupations concernant la qualité des sols, leur évolution et la dynamique des peuplements sont à l'origine d'une nouvelle problématique forestière qui mérite d'être élucidée. D'autre part, la dynamique des écosystèmes forestiers, en rapport avec une multitude d'interactions entre espèces végétales qu'elles soient ligneuses et/ou herbacées peut souvent induire ; du fait, dans le monde végétal, une régression dans les systèmes liés soit à des problèmes d'allelopathie où a des problèmes de compétitions entre sujets.

Dans le contexte allelopathique, les effets exercés par les substances d'origine végétale sur d'autres espèces végétales de manière direct ou indirecte et qu'ils soient favorables ou défavorables, se répercutent d'une manière ou d'une autre sur le comportement des végétaux (croissance et développement). Ces effets sont le plus souvent dépressifs sur les microflores des sols qui contrôlent les cycles biogéochimique et influencent la nutrition des plantes par voie de conséquences.

Dans nos régions, les résineux représentés généralement par le pin d'Alep (*Pinus halepensis Mll*), pourraient malgré les rigueurs climatiques influencer, à une certaine altitude, l'environnement édaphique, particulièrement l'activité des micro-organismes telluriques qui

contrôlent les différents cycles biogéochimiques des éléments minéraux (C, N, P, S) et les séries de réactions enzymatiques, ainsi que le développement des jeunes plantules forestiers. Mais, Andreux et Ranger (2001), notèrent que le mélange d'essences est prôné depuis très longtemps en zones tempérés dans le cadre d'alternatives à l'enrésinement, et ce pour améliorer et activer les humus, dont la faible dynamique conduit en cascade à un des disfonctionnement des cycles biogéochimiques des éléments nutritifs (N, P, K, S).

Dans le même contexte, il serait à cet effet intéressant de connaître dans quelle mesure, à quel rythme et quelle serait l'importance relative de l'influence qu'exercerait le type de forêts et plus précisément le type de pineraies (la pineraie pure et la pineraie chênaie) sur le potentiel de fertilité chimique des sols forestiers et le comportement de jeunes plants de pin d'Alep ? Quel rôle pourrait jouer le chêne vert quant il y est associé au pin dans la fertilité des sols et la production des peuplements forestiers ?

En outre, les travaux entamés par Ould rabah (1991) et Ghoul (1993) et relatifs à l'effet des litières forestières sur la mobilisation d'éléments chimiques ont montré que les feuillus solubilisent mieux les éléments que les résineux dans les stations forestières. De son coté, Bensid (1996), qui s'est intéressé par la suite à l'effet de la nature des matières organiques sur leur tun-over a noté une certaine convergence de l'humification des matières organiques dans différents écosystèmes malgré la diversité des peuplements.

Ainsi, pour mieux étudier le régime nutritionnel des végétaux en éléments chimiques, il serait aussi fort judicieux de caractériser les principaux éléments biogènes (N, P, K) et les rôles qu'ils jouent dans le comportement végétal, étant donné que les éléments biogènes sont indispensables à la vie des plantes dont les principaux sont représentés par l'azote, le phosphore, le potassium et le calcium.

Compte tenu de ces considérations, cette investigation est menée dans le but d'étudier l'influence relative de la pineraie pure et de la pineraie chênaie sur, d'une part la mobilisation de deux éléments biogènes (azote et phosphore) et d'autre part sur le comportement de jeunes plantules de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*). Pour cela, nous avons tenté d'élucider expérimentalement cet aspect d'écologie forestière en utilisant la culture en pot comme model expérimental. Cette étude envisage de traiter les aspects suivants :

- Effet du type de pineraies sur les caractéristiques chimiques des sols de la pineraie et ceux de la pineraie chênaie (l'évolution des quantités d'azote et des quantités de phosphore dans les systèmes sols–litières et les systèmes sols–litières-plantes)
- Effet du type de pineraies sur les caractères morphométriques et biométiques des plantules de pin d'Alep.

- Effet du type de pineraies sur la dynamique de l'azote et du phosphore dans les sols et sur les caractéristiques des plantules de pin d'Alep.

CHAPITRE I

GENERALITES SUR LE PIN D'ALEP EN ALGERIE

1.1- GENERALITES SUR LE PIN D'ALEP

1.1.1- Taxonomie

La taxonomie du pin d'Alep qui fut retenue par tous les botanistes est celle donnée par Miller en 1768 (*Pinus halepensis* Mill.).

Selon Gaussen in Kerchouche (2003), le sous genre *Pinus* du genre *Pinus* appartenant à la famille des *Pinacées* est divisé en quatre sections et chaque section est spécifique à une aire biogéographique (tableau 01)

Tableau 01 : Systématique du sous-genre *Pinus*

Sous-genre	Section	Aire biogéographique	Espèce représentative
Pinus	*Taedoponderoides*	Sud est de l'Amérique du Nord	*Pinus taeda L.*
	Halepensoides	Région méditerranéenne	*Pinus halepensis Mill.*
	Merkusioides	Indochine, Malaisie	*Pinus merkusii Eng.*
	Khasyosilvestrioides	Europe	*Pinus sylvestris L.*
	Parryanoides	Californie	*Pinus parryana Jungh. et Vries.*

Pinus halepensis Mill. fait partie du groupe *halepensis* de la section *Halepensoides* et du sous-genre et du genre *Pinus.*

Aussi, Nahal (1986) a noté que *Pinus halepensis* Mill. n'est pas une espèce homogène dans toute son aire géographique. Il se présente sous des formes se distinguant par le port, le caractère des cônes et la morphologie des pollens. Il renferme également des races et des écotypes dont il faudra tenir compte pour le reboisement, en particulier les écotypes résistants à la sécheresse et au froid.

1.1.2- Caractères dendrométriques et forestiers du pin d'Alep

De nombreux travaux ont été réservés à cette essence et ont abouti aux caractères suivants :

Le pin d'Alep est un arbre de seconde grandeur ayant une forme conique à l'état jeune (jusqu'à 20 ans), qui s'étale de plus en plus à l'état adulte prenant une forme arrondie. De taille moyenne rarement supérieur à 20 m avec une circonférence maximum de 3,50 m (Boudy, 1950 ; Nahal 1962). Le tronc est rarement rectiligne et la tige exploitable comme bois d'œuvre dépasse rarement 8 mètres, excepté en conditions écologiques favorables, on obtient des arbres droits pouvant donner 10 m de fût utilisable.

L'âge d'exploitabilité des pinèdes est de 80 ans, avec une production moyenne de 1,5 m^3/ha/an. En France Couhert et Duplat (1993) ont obtenu selon la fertilité des stations, une production de 1 à 6 m^3/ha/an. En Algérie Kadik (1987) l'estimait à 4 m^3/ha/an dans le littoral, de 2 à 4 m^3/ha/an dans le Tell et de 1 à 2 m^3/ha/an au sub-saharien.

Ripert et al (2001) notait que la croissance du pin d'Alep dépend principalement du bilan hydrique local, de la topographie et des caractéristiques édaphiques. Mais c'est le climat qui joue aussi un rôle important à l'échelle régionale: les régions chaudes et humides sont les plus favorables à cette espèce.

1.1.3- Répartition du pin d'Alep dans le monde

Le pin d'Alep est une espèce largement répandue sur le pourtour méditerranéen. Ces forêts occupent au total plus de 3,5 millions d'hectares qui sont réparties dans certains pays comme suit :

- En Algérie, le pin d'Alep est fréquent sur tous les massifs montagneux, du tell littoral jusqu'à l'Atlas saharien et selon Kadik (1987), la superficie de cette essence approche 850.000 hectares.

- En Tunisie, il couvre une superficie de 340.000 hectares, et colonise essentiellement les Monts de la dorsale tunisienne (Souleres, 1969).

- Au Maroc, le pin d'Alep est rare, il constitue quelques peuplements généralement isolés sur le pourtour des grands massifs montagneux du Rif, du Moyen-Atlas, et du Haut-Atlas. La superficie totale est de 151.809 ha.

- En Espagne, il est très bien développé constituant 15 % de la superficie boisée.

- En France, la surface des peuplements de pin est passée de 36.000 ha à 232.000 ha en un siècle (Brochiero et al, 1999).

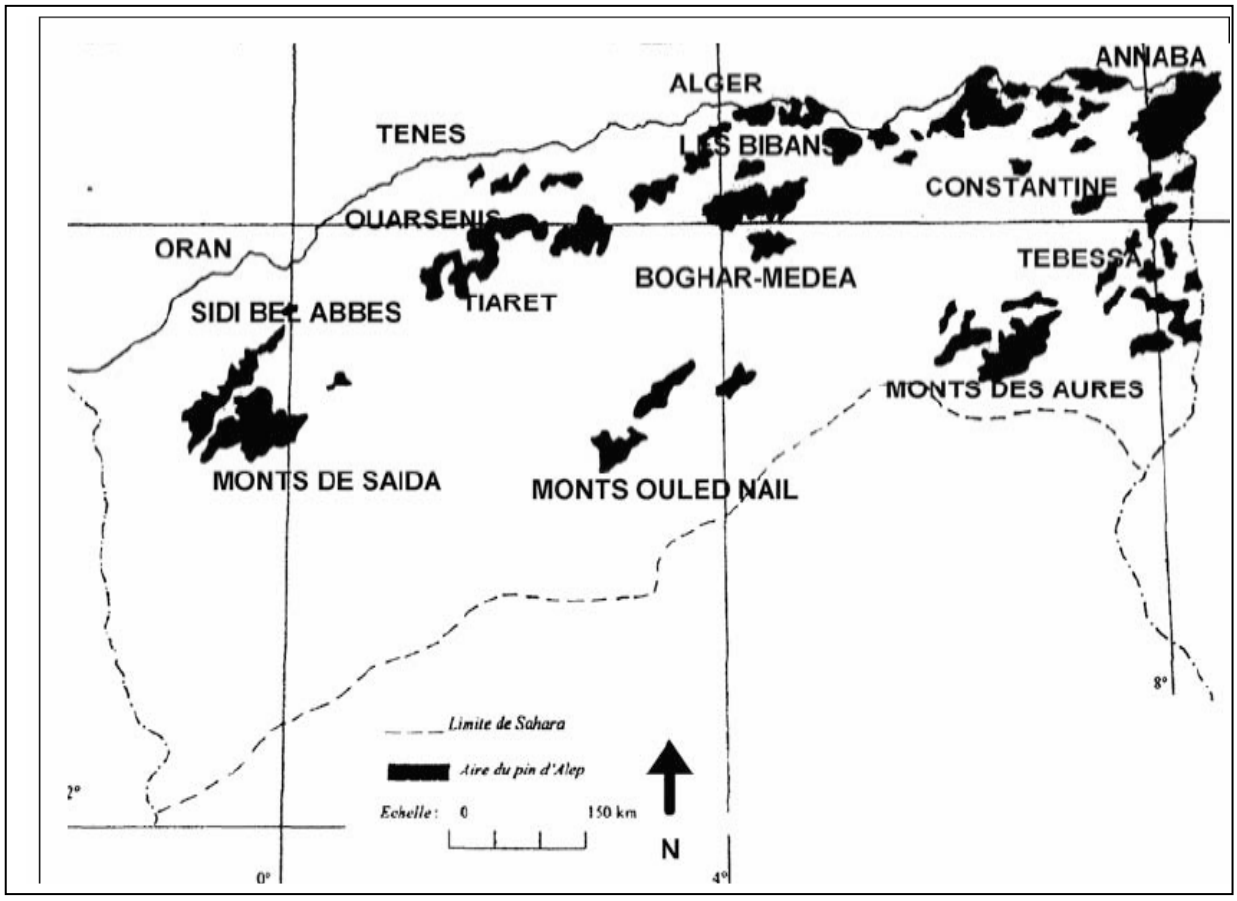
- En Italie, le pin d'Alep couvre environ 20.000 ha et reste à proximité des côtes (Pardé, 1957).

- Au Proche-Orient, sa présence en Turquie n'est certaine qu'au nord-est d'Adana et il constitue quelques peuplements relativement importants en Palestine et en Jordanie (Quezel et Barbero, 1992). En Syrie, il ne constitue que quelques boisements.

1.1.4- Répartition du pin d'Alep en Algérie

Schonenberger in Kadik (1987) notait que le pin d'Alep est une essence climacique des régions semi-arides. En Algérie (figure 01), il occupe le premier rang et constitue 35 % de la surface boisée, sa répartition est la suivante :

- à l'est, on le trouve dans la région de Tébessa.
- les plateaux constantinois et les Aurès.
- dans la région d'Alger, il constitue des peuplements assez importants de l'ouest à l'est. On peut citer les forêts de Médéa.
- à l'ouest, il marque bien sa présence à Bel Abbès, à Saida et dans l'Ouarsenis.
- le pin d'Alep colonise même l'atlas saharien et il forme dans la région de Djelfa de beaux peuplements dans les Monts des Ouled-Nail.



(Source Bentouati, 2006)

Figure 01: Aire de répartition du pin d'Alep en Algérie

1.1.5- Les sols des pinèdes

Comme le rapportent Quezel et Barbero (1992), le pin d'Alep affectionne sur toute l'étendue de son aire de répartition les substrats marneux, calcaires et calcaro-marneux. Aussi, cette essence apparaît également sur les schistes et les micaschistes comme c'est le cas du littoral algérois.

Cependant, il fait défaut sur les granites, sur les gneiss, et les substrats où existent des nappes aquifères permanentes qui provoquent l'asphyxie de son système racinaire. Aussi, il tolère très mal les substrats sablonneux surtout en raison d'un assèchement trop intense des horizons supérieurs en été.

De son coté, Kadik (1987), dans ses travaux sur l'écologie, la dendrométrie et la morphologie du pin d'Alep en Algérie, souligné que les sols occupés par cette espèce sont relativement épais de 20 à 100 cm ; sur des sols moins profonds, il notait que le développement du pin est possible mais il nécessite une fissuration accentuée de la roche mère ou un substrat meuble. Les profils de ces sols sont souvent de type AC, A(B)C, et sont au plan génétique des rendzines, des sols bruns calcaires, des sols bruns calciques, ainsi que des sols fersialitiques plus ou moins brunifiés sur roches mères calcaires. La texture de ces sols est sablo-limoneuse à limono-sableuse, mais la structure est souvent particulaire à tendance polyédrique. Cette espèce est une essence calciphile qui s'installe le plus souvent sur des sols à complexe saturé et qui s'accommode aussi d'une teneur élevée en calcaire.

Les meilleurs peuplements de pin d'Alep sont situés sur des sols à réaction basique dont le pH varie entre 7,5 et 8,5. L'humus est souvent un mull calcaire ou un mull calcique.

1.1.6- La croissance du pin d'Alep

La croissance des végétaux se caractérise morphologiquement par une série de mouvements. La croissance en hauteur de la pousse terminale du pin d'Alep se fait en deux temps ; en automne, il met en place un bourgeon terminal. Ensuite au printemps suivant, ce bourgeon va se développer et donner naissance à une pousse terminale. Beaucoup d'auteurs ont mentionné que la période de croissance varie en fonction des espèces (Kramer et Koslowski in Poupon, 1971). Les pins qui apparaissent les plus résistant à la sécheresse poussent encore au cours de l'été, et Poupon (1971) avait remarqué que certains individus ne cessaient de croître qu'au mois de septembre ou même en octobre (tableau 02).

Cependant, Chaba (1983), a noté par ces travaux sur le pin d'Alep, l'existence d'un antagonisme qui se caractérise par une diminution (ou un arrêt) de la croissance d'une partie de l'arbre lorsque une autre est en pleine croissance.

Tableau 02 : caractéristiques biologiques et mophologiques de quatre espèces de pin

Espèces	Longueur du bourgeon terminal (cm)	Longueur moyenne de la pousse annuelle (cm)	Date moyenne de départ	Date moyenne d'arrêt	Durée moyenne de la période de croissance (en jours)	80% de la croissance obtenus (en jours)	Vitesse de croissance normale	Hauteur des arbres		Longueur moyenne des aiguilles (en cm)	% de la croissance à l'apparition des aiguilles
								moyenne en cm	σ/m		
Pinus Pinea L.	6,0	52,0	27 janvier	1er juin	126	64	3e semaine	231,0	0,20	13	65
Pinus halepensis Mill.	1,5	47,4	2 février	20 juillet	167	142	2e quinzaine d'avril	264,1	0,30	8	56
P. Pinaster sol.	6,0	47,5	26 janvier	27 mai	122	76	2e quinzaine d'avril	277,2	0,21	16	30
P. radiata D. Don.	5,0	37,4	31 janvier	19 mai	109	85	Début mars	214,3	0,44	12	73

Source poupon (1971)

1.2- LES ZONES FORESTIERES À PIN D'ALEP EN ALGERIE

En fonction des paramètres climatiques, Kadik (1987) a regroupé les stations des principales pineraies en zones comme suit :

- Littoral et sublittoral
- Tell algérois
- Tell oranais
-Aurès Nememcha.

1.2.1- Zone du littoral et du sublittoral

Les pinèdes rencontrées sur le littoral et sublittoral se localisent sur les sols suivant : les sols peu évolués, les sols fersiallitiques, les sols bruns calcaires et les sols isohumiques. Le pin

d'Alep dans ces régions fait preuve d'un dynamisme favorable bien marqué, se traduisant par une régénération aisée.

Dans ces zones, les sols les plus répandus sont les sols calcimagnésiques sur les marnes calcaires ou les calcaires fissurés, les taux de matière organique varient en fonction de la richesse des strates végétales mais l'activité biologique qui est généralement bonne favorise une humification intense.

Les espèces végétales qui les recouvrent sont les suivantes : *Pistacia lentiscus, Phillyrea angustifolia, Olea europea ssp sylvestris, Asparagus acutifolius, Chamaerops humilis, Halimium halimifolium, Hedysarum naudinianum, Erica arborea, Cistus monspeliensis, Lavandula staechas, Cestus salvifolius*

Dans cette zone, et à la faveur de la dégradation occasionnée par l'homme, le pin d'Alep envahit pratiquement toutes les formations stables à *Juniperus phoenicea* et *Juniperus oxycedrus ssp macrocarpa* par sa diversité d'adaptation, sa plasticité vis-à-vis des sols et du climat. Aussi, il s'introduit dans les formations à thuya et à chêne kermes des zones sublittoral. Dans certaines régions les peuplements de chêne liège diminuent au profit du pin d'Alep et dans d'autres régions les peuplements sont constitués d'un mélange de pin d'Alep, de chêne vert et d'essences secondaires (Quezel, 1986).

Ainsi, Le pin d'Alep dans les zones littorales et sub-littorales est considéré comme un intrus qui est en pleine phase d'extension.

1.2.2- Zone du tell

Les sols à pin d'Alep rencontrés, appartiennent surtout à la classe des sols calcimagnésiques. Les meilleurs sols se trouvent à une altitude allant de 800 m à 1100 m sur des substrats calcaires. Le sol est épais, et il se caractérise par une bonne texture et par un taux d'humus supérieur à 2 %.

Tell oranais

Les pineraies oranaises, présentent des groupements dans lesquels les espèces suivant sont les plus ou moins imbriquées : Thuya, chêne vert. Dans les pineraies pures, le sous bois est peu abondant, et il est surtout constitué par *Romarinus Tournefortii, Fumana thymifolia, Cistus villosus, Globularia Alypum* et *Pistacia lentiscus.*

Dans les pineraies avec chêne vert et thuya on note le côtoiement dans la strate arbustive de *Quercus ilex, Pinus halepensis* et *Tetraclinis articulata*. La pineraie à chêne vert est caractérisée par une strate arborescente dominée par *Pinus halepensis* ; le chêne vert est bien représenté dans la strate arbustive. On note également une représentation bien marquée de

Juniperus oxycedrus, de asparaqus acutifolius ,de phillyrea anqustifoli aet de Genista quadriflora.

Tell algérois

Dans cette zone, certaines pineraies dérivent de chênaies vertes qui se distinguent par la présence de *Quercus suber, Erica arborea, Pulicaria odora, Olea europea ssp syvestris, Lavandula staechas, Pteridium aquilinum, Calycotome villosa, Genista tricuspidata et Cytisus triflorus.*

Les pineraies de l'Ouarsenis sont représentées par des espèces appartenant à des formations forestières du bioclimats semi aride à subhumide : *Quercus rotundifolia, Phillyrea angustifolia ssp angustifolia et Phillyrea angustifolia ssp media, Juniperus Oxycedrus, Asparagus acutifolius, Lonicera implexa, Clematis flammula, Olea europea ssp sylvestris et Coronilla minima.*

Les pineraies des Bibans présentent une structure jardinée à sous bois assez dense occupé par *Pistacia lentiscus* et *Quercus rotundifolia*. Ce dernier est nettement dominé par la futaie de pin d'Alep qui occupe le moindre vide. La strate arborescente est composée par *Cistus heterophyllus, Rosmarinus tournefortii, Genista tricuspidata et Globularia lypum, Calycotome spinosa.*

Il est à remarquer que les peuplements issus de régénération après incendies, sont représenté par une seule strate de pin d'Alep.

1.2.3- Zone subsaharienne

Les forêts à pin d'Alep de l'Atlas saharien sont situées sur des sols calcimagnésiques.

Atlas saharien oranais

Les espèces forestières et pré-forestières sont constituées par *Quercus rotundifolia, Juniperus oxycedrus ssp rufescens* et *Pinus halepensis , Jasminum fruticans, Colutea arborescens, Rubia peregrina* et *Asparagus officinalis, Cistus villosus, Juniperus phoenicea, Stipa tenacissima, Rosmarinus tournefortii, Helianthemum cinereum ssp rubellum, Bulpleurum balansae, Carex halleriana, Teucrium polium, Helianthemum pilosum, Alyssum granatense, Centaurea incana ssp pubscens, sedum sediforme, Centaurea incana amourensis, Leuzea conifera, Globularia alypum, Helianthemum virgatum, Ephedra altissima et Artimisia atlantica.*

Les stations se présentent sous l'aspect de forêt steppe à Genévrier de phénicie. Le pin d'Alep est en régression, et la régénération n'est plus assurée, du fait d'une pression humaine très forte.

Atlas saharien algérois

Les forêts d'Aflou sont fortement soumises aux délits, et elles sont Constituées de genévrier de phénicie, de pin d'Alep, de chêne vert et du pistachier de l'atlas, et sont situées sur un substrat siliceux très rocheux, peu profond avec peu d'humus. La dégradation avancée de ces massifs est mise en évidence par les espèces appartenant au matorral et à la steppe. *Artemisia herba-alba, Atractylis serratuloides, Ononis natrix, Paronychia argentea, Micropus bombycinus, Atractylis carduu et, Launea resedifolia.*

Du côté des monts des Ouled Nails, le pin d'Alep et le chêne vert ont tendance à se regrouper avec le genévrier de phénicie et du genévrier oxycedre. La composition floristique du pin d'Alep est composée par : *Helianthemum cinereum ssp rubellum, Globularia alypum, Pistacia lentiscus, Cistus libanotis, Genista microcephala, Atractylis humilis ssp caespitosa, Phillyrea angustifolia et Romarinus tournefortii*.

1.2.4- Zone de l'AURES- NEMEMCHA

Le groupe Aurès-Nemamcha est subdivisé en trois ensembles, celui des monts de Hodna, celui des Aurès et celui des monts de Tébessa.

Les sols rencontrés sont des sols calcimagnésiques. Le type de sol caractéristique est le sol brun calcaire sur calcaire dur ou sur calcaire tendre. Le sol brun calcique est représenté dans les forêts de chêne vert à pin d'Alep en étage subhumide inférieur et semi-aride supérieur. Les lithosols et les régosols sont répandus sur les collines et les pentes fortes soumises à l'érosion par affleurement de la roche mère.

Monts de Hodna

La strate arborescente est constituée *de pinus halepensis, Quercus rotundifolia, Juniperus oxycedrus* et *Juniperus de phoenicea.*

AURES

Le pin d'Alep des Aurès constitue des forêts qui sont caractérisées par les espèces dominantes suivantes : le cèdre, le chêne vert, le genévrier thurifère, le genévrier de phénicie. Le pin d'Alep thermophile et résistant à la sécheresse, colonise les basses pentes, alors le cèdre exigeant en humidité forme des peuplements dense en montagnes. Le chêne vert s'intercale entre les deux. Selon Schonenberger in Kadik (1987), le pin d'Alep est une espèce climacique du bioclimat semi aride avec une strate arbustive composée de : *Quercus rotundifolia, Genista cinerea ssp cinerea, Genista microcephala, Rosmarinus officinalis, Globularia alypum, Cistus villosus, Leuzea conifera, Avena bromoides, Helianthemum cinereum ssp rubellum, Bupleurum atlanticum, Fumana thymifolia.*

Les pineraies du bioclimat semi aride inférieur sont dominée par *Stipa tenacissima, Rosmarinus officinalis, Genista microcephala , Thymus algeriensis, Atractylis humilis ssp caespitosa.*

Ainsi, Hassad (2005), en faisant une étude sur les groupements de pin d'Alep dans la forêt de Ouled yagoub a rencontré une pinède pure, une pinède à oxycèdre et une pinède à chêne vert. La forêt pure est caractérisée par la présence des espèces suivantes : Quercus ilex, Juniperus oxycedrus, *Rosmarinus officinalis, Globularia alypum, Stipa tenacissima, Pistacia lentiscus, Ampelodesma mauritanica, Cystus salvifolius L, Phillyrea angustifolia, Astragalus armatus, Genista microcephala, Asparagus alba, Asparagus acutifolius, Fraxinus dimorpha.* Aussi le type de la pinède à chêne vert est représenté par les espèces suivantes : *Rosmarinus officinalis, Globularia alypum, Pistacia lentiscus, Ampelodesma mauritanica, Cystus salvifolius L, Phillyrea angustifolia, Astragalus armatus, Genista microcephala, Asparagus alba*

Monts de Tébessa

Les groupements végétaux à pin d'Alep des monts de Tebessa sont fortement appauvris en espèces faisant partie du cortège de *Qercus ritundifolia*, représentées par : Asparagus *acutifolius, Juniperus oxycedrus ssp rufescens, Coronilla minima, Cistus villosus, Ampelodesma mauritanicum*. La réduction de ces espèces témoigne de conditions climatiques plus sèche qui favorisent le développement des espèces caractérisant le cortège du pin d'Alep à romarin et celui du pin d'Alep à genévrier de phénicie.

Le premier groupe est représenté par : *Rosmarinus officinalis, Genista cinerea, Thymelaea tartonraira, Fumana thymifolia, Leuzea conifera, Ebenus pinnata, Phagnalon saxatile, Cistus libanotis, Dianthus caryophyllus, Asperula cynanchica, Avena bromoides, Retama sphaerocarpa, Bupleurum balancae*

Le second groupe est représenté par les espèces suivant : *Helianthemum cinereum ssp rubellum, Pituranthos scoparius, Genista microcephala, Thymelaea nitida, Alyssum cochleatum ssp serpylifolium, Ononis natrix, Atractylis serratuloides, Astragalus armatus ssp tragacanthoides, Alyssum scutigerum.*

CHAPITRE II
CROISSANCE ET MINERALOMASSE VEGETALE

2.1- COMPOSITION MINERALE DES VEGETAUX

D'après Heller et al (1998), les trois éléments caractéristiques des substances organique (C, H, O) représentent en masse plus de 90 % de résidu sec (C : 40 à 50 % ; O : 40 à 45 % ; H : 6 à 7 %).

Les éléments minéraux sont classés, selon leur importance pondérale, en deux groupes ; les macroéléments et les oligoéléments.

Les macroéléments sont présents à des taux de l'ordre de quelques « p.mille » à quelques « p.cent » de la matière sèche. Parmi ces éléments, nous citons : l'azote (N : 1 à 3 %), le potassium (K : 2 à 4 %), le calcium (Ca : 0,1 à 2 %), le magnésium (Mg : 0,1 à 0,7 %), le soufre (S : 0,1 à 0,6 %) et le phosphore (P : 0,1 à 0,5 %).

Les oligoéléments se trouvent à des taux inférieur à 1p.mille de la matière sèche ; et comprennent une vingtaine d'éléments parmi :

- Fe, Mn : 0,01 à 1 p.mille.
- Zn, Cu, B : 0,01 p.mille.
- Al, Ni, CO, MO, J, Br, F : 0,001 p.mille ; et à des taux toujours très faibles.

2.2- LES PRINCIPAUX ELEMENTS

2.2.1- L'Azote

L'atmosphère est à prés de 80% constituée de gaz N_2. Mais la plupart des plantes ne peuvent pas l'utiliser sous cette forme inerte. Ils absorbent les formes ioniques solubles :

- Nitrate (NO_3^-)
- Ammonium (NH_4^+) : La grande part de l'ammonium dans le sol est convertie en nitrate par les microorganismes du sol, avant son absorption par les racines.
- Une très faible quantité d'urée : O = C(NH2)(NH2)

2.2.1.1- Forme de l'azote assimilé par les plantes

La source majeure d'azote pour les plantes dans les écosystèmes terrestres devient disponible par décomposition de la matière organique. La majorité (> 90%) de l'azote est contenue dans la matière organique morte issu des plantes et des animaux (Chapin et al in Saubusse ; 2005)

La concentration de l'azote dans la plante (N total) varie de 1 à 6%. Quand cette teneur est inférieure à 1%, les symptômes de carence apparaissent.

Les ions nitrate et ammonium se déplacent vers les racines des plantes par mass flow et par diffusion. Dans les sols humides et chauds, bien aérés, la concentration des nitrates est, généralement, plus élevée que celle de l'ammonium. Ainsi, les nitrates sont absorbés en plus grandes quantités. Apporté au sol, l'ammonium peut être directement absorbé par les racines et une partie va se fixer sur les sites d'échange des colloïdes du sol. Mais la plus grande partie est nitrifiée (convertie en NO_3^-) et absorbée sous forme de nitrate.

Sous des conditions de pH de sol acide et/ou de faible aération du sol (sol saturé en eau), une grande quantité d'azote reste sous forme d'ammonium et elle est absorbée sous cette forme. Ceci peut être du à la mort des bactéries nitrifiantes sous ces conditions empêchant ainsi la conversion de l'ammonium en nitrate.

Afin d'assurer un équilibre des charges de ses cellules, quand la plante absorbe les nitrates (NO_3^-), elle absorbe aussi un cation (K^+ ou Ca^{2+} ou Mg^{2+} ou H^+) et/ou elle expulse un anion (HCO_3^- ou OH^-).

Par contre, les plantes absorbent l'ammonium (NH_4^+) en échange avec H^+ qui, excrété par les racines entraîne une faible diminution du pH du sol autour d'elles.

2.2.1.2- Fonction de l'azote dans la plante

L'azote est un composant de plusieurs biomolécules importantes :

- la chlorophylle (pigment absorbant la lumière) contient 4 atomes de N.
- toutes les protéines (structurales et enzymatiques) consistent en des chaînes d'acides aminés (la fonction amine est NH_2).
- ATP (source d'énergie pour les réactions de biosynthèse) : L'adénine contient de l'azote.
- les acides nucléiques (ADN, ARN). Les bases azotées (A, T, C, G) qui forment le "code génétique" contiennent de l'azote.

L'excès d' N, bien que rarement toxique, peut :

- se traduire par une couleur très sombre des feuilles et une maturité retardée.
- Sur de jeunes pousses, il se traduit par un enroulement des feuilles. Plus tard, on aura un système racinaire sous développé, une floraison retardée et une récolte diminuée (Vyking, 2006).

2.2.2- Le phosphore

L'absorption du phosphore par les plantes se fait essentiellement par diffusion, par interception racinaire (cet apport n'excède pas 1%) et par flux de masse.

La quantité du phosphore absorbée par les plantes dépend de l'espèce et de la capacité de cette dernière à prélever cet élément (mycorhizes). En fait, dans les sols carencés en phosphore, le principal bénéfice de l'association mycorhisienne est l'amélioration de l'alimentation phosphorée (Vanden Bossche in Zemoura, 2006).

2.2.2.1- Forme du phosphore assimilé par les plantes

Le phosphore existe dans les plantes en quantité assez minime, 0.5 à 1% du poids de la matière sèche. Il peut s'y présenter soit sous forme minérale, soit sous l'aspect de composés organiques complexes, lécithine, phytine … etc (Diehl, 1975).

Le phosphore est prélevé sur toute la surface des racines sous forme d'ions phosphates dissous dans la solution du sol, $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} (Fardeau, 1993)

Il s'accumule surtout dans les graines et dans les organes jeunes (Gros, 1979).

Dans le cas des formes minérales du sol, la libération du phosphore dans la solution fait intervenir la **dissolution e**t la **désorption**. Elle est favorisée par l'excrétion de protons par la racine, mais aussi par la libération d'acides organiques (Gobat in Razi., 2006). Dans le cas de phosphore organique, la libération est favorisée par l'action enzymatique. Les enzymes excrétées dans le sol par les racines, les mycorhizes et la faune bactérienne comptent une large gamme de composés capables d'hyrolyser les molécules organiques riches en phosphore

2.2.2.2- Fonction du phosphore assimilé par les plantes

Les rôles métaboliques du phosphore sont :

- Au cours de la croissance de la plante, l'acide phosphorique joue un rôle de régulateur des voies métaboliques par sa répartition entre chloroplaste et cytoplasme (Diehl, 1975).

- Il a aussi un rôle structural. C'est l'un des constituants de l'ADN et ARN, de la membrane cellulaire associé à des lipides où il forme les phospholipides. C'est un constituant de l'ADP.

- Il faut noter son rôle énergétique par le haut potentiel que le phosphoryle confère à certaines molécules et active la synthèse des glucides (sucres, amidon, cellulose) et leur mise en réserve dans les graines, les fruits. Aussi, il est un facteur de résistance au froid, à la sécheresse, et aux maladies.

CHAPITRE III

MATIERE ORGANIQUE ET DYNAMIQUES DE N, P DANS LE SOL

3.1- LA MATIERE ORGANIQUE

3.1.1- La Matière organique et ses fonctions

La matière organique est une matière carbonée provenant d'êtres vivants végétaux et animaux. Elle est décomposé plus ou moins rapidement par l'activité biologique et joue un rôle essentiel dans la réserve nutritive du sol (Baize et Jabiol, 1995 ; Morel, 1996 ; Duchaufour, 1997).

Sous un couvert forestier, l'essentiel de la matière organique qui arrive au sol en dehors des apports racinaires provient des parties aériennes des arbres, des arbustes et de la strate herbacée ; ces apports sont de deux types :

- Apports des feuilles et de brindilles qui tombent sur le sol.
- Apports de matières solubles ou de résidus de très petite taille qui correspondent aux pluvioléssivats. (Mangenot, 1980).

La matière organique apparaît comme un entrepôt où s'accumulent les principaux minéraux utiles par l'intervention des micro-organismes. Elle est réduite en éléments simples qui vont se fixer sur les colloïdes de sol ; sous une forme relativement stable et assimilable (Flix in Alloui, 1991).

Elle joue plusieurs rôles qui se résument dans le tableau suivant :

Tableau 03 : rôles de la matière organique

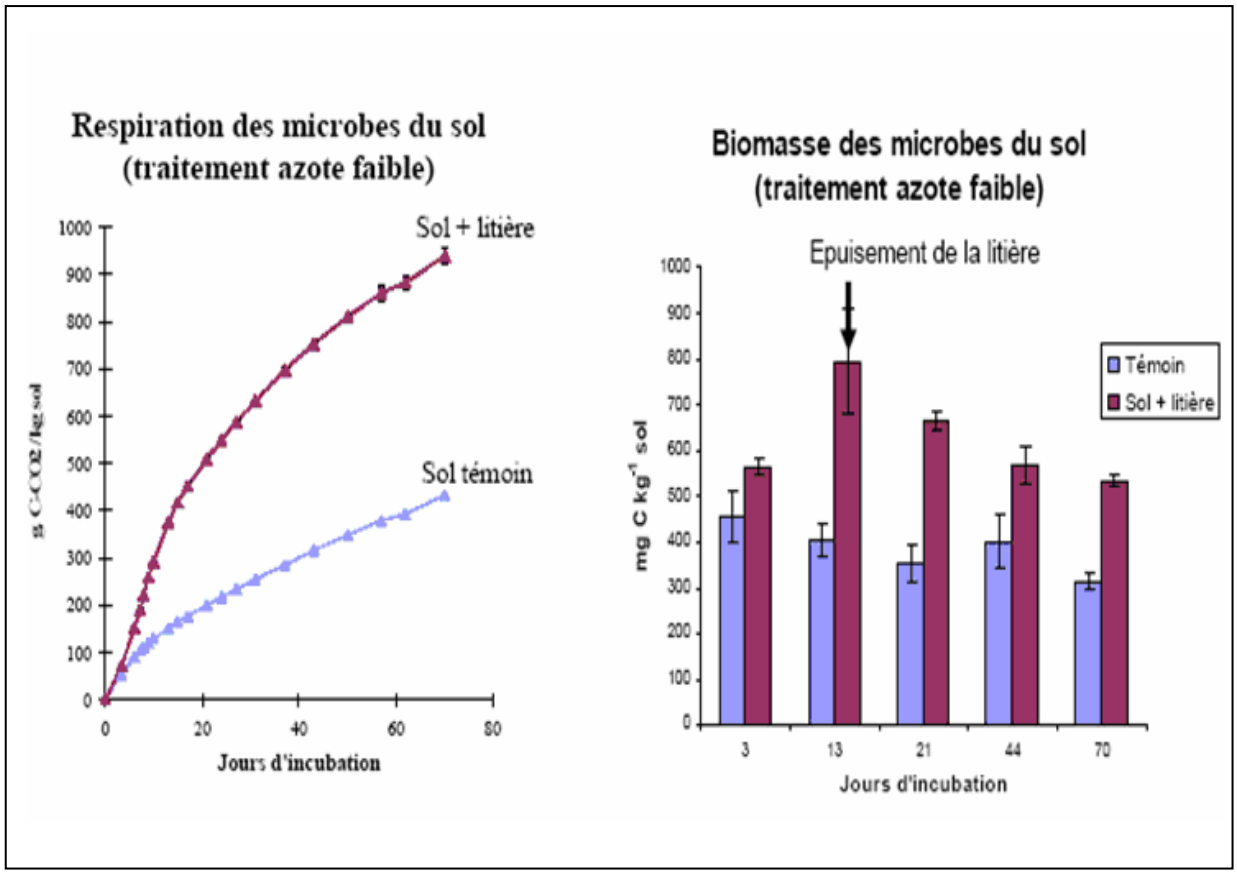
	Action	Effet positif
Rôle physique	Structure, porosité	- pénétration de l'eau et de l'air - stockage de l'eau - limitation de l'hydromorphie - limitation du ruissellement - limitation de l'érosion - Limitation du tassement - réchauffement
	Rétention en eau	- meilleure alimentation hydrique
Rôle biologique	Stimulation de l'activité biologique (vers de terre, biomasse microbienne) Dégradation, minéralisation	- dégradation, minéralisation, réorganisation, humification. - aération - fourniture d'éléments minéraux (N, P, K, oligo-éléments….)
Rôle chimique	CEC	Stockage et disponibilité des éléments minéraux
	Complexation ETM	Limitation des toxicités (Cu par ex
	Rétention des micropolluants organique et des pesticides	Qualité de l'eau

3.1.2-La Litière

Les végétaux organismes majoritairement autotrophes, font la synthèse de la matière vivante. Cette dernière selon une échelle de temps variable, retourne au sol sous forme d'exsudats racinaires et foliaires ainsi que de débris (feuilles, rameaux, fruits….). L'ensemble constitue la litière (Mangenot, 1980).

Cependant, Fontaine (2006), souligne que les activités microbiennes du sol sont limitées par l'énergie disponible dans ce dernier. Il faut donc maximiser l'incorporation de litière dans les sols (figure 02).

L'apport de litière stimule globalement les activités microbiennes du sol



Source fontaine (2006)

Figure 02 : Effet litière sur l'activité microbienne du sol

La litière est constituée de deux fractions:

- la fraction hydrosoluble, rapidement entraînée vers les horizons minéraux après la chute des feuilles et riche en substances complexantes (Tissaux, 1996). Selon les travaux de Jaguin et Bruchert (1965), de Jaguin et al (1968) et de Duchaufour et al (1968) comme le rapporta Boukerker (1997), il ressort que les extraits hydrosolubles des litières recèlent de très nombreux composés : sucres simples (fructose, glucose,…) ; acides aminés (Alanine, valine….) ; Acides phénoliques (Acides Benzoiques et certains dérivés….) et autres Acides organiques : (Acide citrique, fumarique).

Mais Nykvist et Bruckert (in Mangenot et Toutain (1980)), avaient montré que les hydrosolubles sont lessivés beaucoup plus rapidement des feuilles d'Angiospèrmes que des aiguilles des conifères.

- la fraction non hydrosoluble est représentée par les parois qui sont principalement composées d'hémicellulose et des composés pectiques. A ces constituants s'ajoutent des substances mal définies ; cutine, subérine et lignine. La décomposition de cette fraction s'effectue après une attaque par la pédofaune qui assure une fragmentation partielle ensuite c'est la microflore qui intervient (Edwards in Mangenot et Toutain , 1980). Cette fraction représente un apport d'énergie de carbone, d'azote et de nutriments que vont se partager l'ensemble des organismes édaphiques (microorganismes, faune du sol et plantes).

3.1.2.1- Types de litières

La litière prend l'appellation de matière organique fraîche. C'est elle qui engendre l'humus. Associée aux facteurs abiotiques du milieu dont le pH, la qualité d'argile et teneur en fer libre, la qualité de litière oriente le type de d'humification, donnant des humus de type mull, moder ou mor (Duchaufour et Jacquin, in Tissaux, 1996).

Le taux de décomposition de la litière dépend de la composition chimique de l'espèce, de l'activité biologique et du climat. Donc c'est en fonction du rapport C/N que les litières sont groupées en trois types :

- **litières acidifiantes** caractérisé par un rapport C/N supérieur à 50 et de forte teneur en lignine et en lipides avec la présence de tanins condensés formant des complexes polyphénoles protéine peu biodégradable avec un ralentissement de l'humification et de ce fait elle favorisent la formation de Mor ou Moder (Duchauffour, 1983).

- **litières améliorantes**, ce sont des litières qui se décompose très rapidement et ont tendance de donner des Mull avec un rapport C/N inférieur à 25 % (Duchauffour, 1983 ; Toutain 1981).

- **litières indifférentes** qui sont intermédiaires, dont le C/N varie entre 30 à 50%.

3.1.2.2- Composition chimique des litières

La composition chimique des litières varie de façon incessante, avant même leur chute, elles s'appauvrissent par transfert d'azote organique, de sucres, de polyphénolls vers les organes permanents des arbres. Cette variation est conséquente aux variations des espèces végétales (feuillus, résineux), ainsi qu'à l'intérieur des espèces elles même (nature et âge) (Toutain, 1981).

De son coté, Laatsh (in Temagoult (2005)), en étudiant la composition chimique des aiguilles du pin d'Alep en éléments inorganiques a constaté l'ordre décroissant suivant en fonction de la quantité : N > K > Ca > Mg > P.

Mangenot et Toutain (in Aissi (1989)), ont dressés le tableau (04) qui illustre la répartition des apports annuels d'éléments nutritifs dans divers milieux forestiers (kg/ha).

Tableau 04 : Apport annuel d'éléments nutritifs (N, P, K, Ca, Mg) dans quelques Forêts de divers climats (en kg/ha).

Espèce dominant ou type de forêt	N	P	K	Ca	Mg
Fagus sylvatica (Nighlard, 1972)	69	5	14.4	31.7	4.3
Quercus petarea (Carlisle et al, 1966)	41	2.2	10.5	23.8	3.9
Chênaie mélangée (Duvigneaud et al, 1969)	6.3	4.5	26.5	91.4	8.1
Quercus ilex (Rapp, 1969)	32.8	2.8	16.2	63.9	4.6
Pinus sylvstris (Aussenac et al, 1972)	50.3	4.5	12.1	40.4	0.4
Picéa abies (Aussenac et al, 1972)	19.3	1.4	4.8	21.7	1.1
Pinus halepensis Mill (Rapp, 1967)	28	4.2	5.7	39.5	4.7
Forêt tropicale (Nye, 1961)	178	6.5	61	184	40
Acacia alba (Jung, 1969)	187	3.9	76	222	38

Mangenot et Toutain (1980) in (Aissi, 1989).

3.1.2.3 - L'effet de la litière forestière

La litière agit sur les propriétés du sol et sur la végétation.

La litière va être incorporée au sol y apportant une certaines quantité d'énergie laquelle va être utilisée par les microorganismes du sol dont l'activité oriente la pédogenèse (Toutain, 1987). Au plan physique, chimique et biologique, la litière va intervenir par le biais de l'humus. Ce dernier exprime l'action de la végétation sur le sol et oriente les phénomènes pédogénétiques (Duchauffour et Toutain, 1985). En effet, l'humus joue un rôle d'éponge qui

assure aux sol un taux d'humidité relativement élevé ; les composés les plus polymérisés et les plus étroitement associés à l'argile assurent un niveau de stabilité très modeste ; les polysaccharides de l'humus jeune améliorent la résistance des agrégats à l'action de l'eau (Duthil, 1973). Ainsi cette agrégation qui favorise la stabilité structurale du sol, joue un rôle important dans la stabilité des nutriments (Dommergues et Mangenot, 1970). Elle exerce un effet protecteur vis-à-vis de la minéralisation du carbone organique et de l'azote organique évitant une biodégradation rapide et une perte possible de nutriments (Tissaux, 1996).

Enfin l'action sur les propriétés biologique du sol s'exprime par l'apport de la litière d'une certaine quantité d'énergie. Parallèlement, l'humus joue le rôle d'un support et sert de nutriments à de nombreux microorganismes du sol.

3.2- L'AZOTE DANS LE SOL

Contrairement au calcium, au potassium et au phosphore, l'azote que l'on trouve dans le sol sous plusieurs formes ne provient pas de la dégradation de roches, mais des sources suivantes :

* Une source atmosphérique :

- les orages synthétisent à partir de ce gaz le nitrate d'ammoniaque que les pluies entraînent dans le sol.
- les bactéries fixatrices d'azote, libres ou associées à des plantes l'utilisent aussi pour la synthèse de leurs protéines, dont elles nourrissent ensuite les plantes.

* Une source organique : l'azote incorporé dans des matières organiques végétales ou animales est la seconde source d'azote (in Soltner, 2000).

C'est un élément majeur, de par sa grande influence sur les niveaux de rendement des espèces cultivées. C'est pour cette raison qu'il est nommé traditionnellement « le pivot de la fumure » (Duthil, 1973).

3.2.1- Les formes de l'azote dans le sol

L'azote total du sol comprend une fraction minérale et une fraction organique, excepté l'azote gazeux (représenté par le N_2 de l'air).

Robert (1996), distingue un cycle interne au sol avec un turn over de l'azote entre la forme organique et la forme minérale.

Minéralisation

Azote organique ⟶ Azote minéral NH_4^+ NO_2^- NO_3^-

⟵

Organisation ou

Immobilisation biologique

La dégradation par voie microbienne des matières organiques du sol conduit à la formation de l'azote minéral. Ces évolutions sont groupées sous le terme de « minéralisation », et inversement, l'azote minéral peut être utilisé par les micro-organismes du sol et transformé en azote organique. Cette transformation qui est dénommée «organisation» ou «immobilisation biologique» peut se produire dans certaines conditions du sol (MO à C/N ↗)

A l'état naturel, l'azote est présent dans le sol sous 3 formes principales :

- Azote organique : environ 0,1 % N organique (soit 3000 kg/ha pour 3000 tonnes de terre /ha).
- Azote ammoniacal : environ 10 kg N NH_4^+ /ha.
- Azote Nitrique : environ 50 kg N NO_3^- / ha.

Les formes NH_4^+ et NO_3^- constituent l'Azote minéral alors que l'azote minéral et l'azote organique constituent l'Azote total du sol.

3.2.1.1- Azote organique

L'azote organique (contenant du carbone) insoluble, exige la minéralisation pour devenir disponible pour les plantes. Cette forme d'azote représente plus de 95 % de l'azote total et elle est constituée de protéines (34 à 50 %), d'acides nucléiques (3 à 10 %), d'amino-sucres (5 à 10 %), de composés de condensation ainsi que de formes complexées avec la lignine (Hébert, 1979 ; Robert, 1996 ;)

Mais Morel (1968), subdivise cet azote organique en deux fractions : l'une comprend des formes assez rapidement dégradables, possèdent un taux de minéralisation annuel supérieur a 10 %, et l'autre relativement stable ne serait guère minéralisée à plus de 0,6 % par an sous climat tempéré.

3.2.1.2- Azote minéral

L'azote inorganique ou azote minéral, principalement l'azote nitrique NO_3^- et l'azote ammoniacal NH_4^+, disponibles pour la plante, constituent une petite fraction de l'azote total du sol (2–5%). L'azote minéral se trouve essentiellement dans la solution du sol et une petite quantité de NH_4^+ adsorbée aux sites d'échange cationique sur les colloïdes du sol (argile, humus).

A- Azote ammoniacal

L'azote ammoniacal est une forme transitoire retenue par le complexe absorbant. Cet élément présent sous la forme ammonium de NH_4^+ est rapidement oxydé par les bactéries nitrificatrices, puis transformé en nitrate (in Soltner, 2000).

L'ammonium NH_4^+, produit de minéralisation, est sujet à plusieurs devenirs dans le sol:

- converti en nitrate (nitrification). Ceci concerne la plus grande part d'ammonium.
- absorbé par les racines des plantes.
- utilisés par des microorganismes (et vers de terre) qui minéralisent les composés organiques restants.
- fixés dans les couches des argiles.
- volatilisé sous forme d'ammoniac NH_3 surtout dans les sols alcalins mais dans ces sols la minéralisation libère de petites quantités d'ammonium.

B- Azote nitrique

L'azote nitrique, très soluble, est la forme principale d'absorption de l'azote. Bien que les plantes puissent absorber légèrement les ions NH_4^+, ce sont les nitrates NO_3^- qu'elles utilisent surtout. Ces anions non retenus par le complexe absorbant, sont rapidement perdus par l'exiviation s'ils ne sont pas absorbés par les plantes ou par les bactéries de la « réorganisation ».

3.2.2- Les biotransformations de l'azote dans le sol

3.2.2.1- Minéralisation de l'azote organique

La minéralisation correspond à la dégradation par la microflore et la microfaune de la matière organique endogène du sol ou exogène ; l'étape ultime conduit à la formation d'ammonium.

Ainsi, Stengel et al (1998), soulignaient que l'azote organique est minéralisé par diverses réactions enzymatiques dont les plus fréquentes sont les désaminations des acides aminés conduisant à l'ammoniac. On parle de l'Ammonification**.** Par la suite, les bactéries du genre *Nitrosomonas* oxydent l'ammonium en nitrites, puis les bactéries du genre Nitrosobacter oxydent les nitrites en nitrates. Cette chaîne réactionnelle est appelée Nitrification.

De ce fait, la minéralisation est essentiellement un processus microbien et la formation d'ammoniac, ou ammonification, implique des microorganismes variés (bactéries et champignons). Cependant, les étapes ultérieures de nitrification font intervenir des bactéries spécifiques en particulier les Nitrosomanos et les Nitrosobacter ; les conditions de milieu

notamment physicochimiques à ces activités sont assez strictes (pH neutre ou basique, présence d'oxygène, quantité suffisante de CO_2…) (Bonneau et Souchier, 1979 ; Robert, 1996).

A- Ammonification

L'ammonification est le processus de dégradation totale des composés organiques azotés (protéines, acides nucléiques…), qui conduit à la libération dans le milieu d'azote ammoniacal. Le clivage des molécules est réalisé par des enzymes synthétisées par les microorganismes du sol. Parmi les bactéries ammonifiantes les plus connues : Achromobacter, Bacillus, Clostridium, Flavobacter, Micrococcus, Pseudomonas, Protaminobacter, Serratia, Proteus (Dommergues et Mangenot, 1970).

Les champignons également ont le même pouvoir ammonifiant, en particulier les moisissures. Les actinomycètes tels que le genre Streptomyces possèdent souvent l'équipement enzymatique leur permettant de dégrader l'azote organique.

- Facteurs influençant l'ammonification

L'ammonification est un processus micobiens qui nécessite un ensemble de facteurs :

- Les pH très bas (inférieur à 4) sont défavorables à l'ensemble du processus d'ammonification (Renault, 1958). Le pH modifie également la rétention de l'azote ammoniacal par le complexe argilo-humique. D'après Nommik et Vahtas (in Genermont (1996), la fixation chimique de l'ammoniac par la matière organique est d'autant plus élevée que le sol est acide. Cependant Freney et al. Avaient rapporté des résultats différents : pour des pH basiques, la fixation de NH_3 par la matière organique est favorisée ; ces résultats semblent refléter simplement la dominance dans la solution de sol des ions ammonium pour des pH faibles et d l'ammoniac acqueux pour des pH élevés.

- l'ammonification commence à des températures basses de 0°C et peut se poursuivre au-delà de 42° C (Sahrawat, in Genermont, 1996).

- le sol doit être à une humidité proche de la capacité au champ, pour qu'il y ait ammonification maximale. Cette dernière sera favorisée par l'alternance du dessèchement et de réhumectation du sol (Genermont, 1996).

B. Nitrification

La nitrification est l'oxydation biologique de l'azote ammoniacal en azote nitrique. Le nitrite (NO_2^-) est un produit intermédiaire qui est rapidement converti en nitrate à cause de son instabilité et sa toxicité pour les racines des plantes.

Ammonium (NH_4^+) ⟶ Nitrite (NO_2^-) ⟶ Nitrate (NO_3^-)

- **Facteurs influençant la nitrification**

La vitesse de la nitrification est de près de 7 à 10 jours, mais varie beaucoup en fonction de :

- la température et l'humidité du sol : elle est lente quand il fait froid mais elle augment avec les températures et atteint l'optimum quand le sol est humide mais pas saturé et que les températures sont comprises entre 28° et 35° C (Morel, 1996).

- l'aération du sol : La nitrification est plus rapide dans les sol à texture grossière (bonne aération) et plus lente dans les sols à texture fine à cause d'une faible aération. Elle peut être amélioré par apport de matières organiques.

- le pH du sol : La nitrification a lieu sur une large gamme de pH (4,5 à 10), mais le pH 8,5 est l'optimum (Morel, 1996 ; Dommergues et Mangenot, 1970).

- la population des bactéries nitrifiantes : si cette population est faible dans le sol, le temps de latence est élevé.

- la présence de CO_2 ou de Carbonates : les bactéries nitrifiantes autotrophes utilisent seulement le carbone du gaz carbonique et des carbonates, elles ont besoin de calcium et de phosphore (Morel, 1996 ; Recous et al, 1996).

3.2.2.2- Dénitrification

La dénitrification est une réduction par voie microbienne des nitrates du sol en nitrites, puis en composés ammoniacaux avec perte d'azote à l'état gazeux; c'est un phénomène important surtout dans les milieux gorgés d'eau. Dans le sol, elle est favorisée par le manque d'aération (CILF Dictionnaire de l'Environnement, 1992).

Les quantités d'azote perdues par dénitrification peuvent représenter 10 à 30% de la dose d'azote apportée. Ces pertes sont plus élevées pendant les périodes pluvieuses ou si les irrigations sont mal conduites. Les sols à texture fine sont plus sujets à la dénitrification que ceux à texture grossière.

Les agronomes et les forestiers pédologues définissent la dénitrification comme processus réducteur s'appliquant aux ions nitriques du sol qui peuvent être transformés en l'un des éléments de la chaîne suivante :

NO_3^- ⟶ NO_2^- ⟶ NO ⟶ N_2O ⟶ N_2 ⟶ NH_4^+

Ion nitrique	ion nitreux	oxide Nitrique	oxyde nitreux	azote moléculaire	ion ammonium

La dénitrification demeure dans le sol le fait d'une activité biologique définie, due à l'intervention d'espèces microbiennes dénitrifiantes (Dommergues et Mangenot, 1970 ; Duthil, 1973 ; Morel, 1996).

- Facteurs de la dénitrification

La dénitrification n'est possible qu'en présence d'une source de pouvoir réducteur, c'est-à-dire des substances libératrices d'électrons qui sont les matières organiques en voie de décomposition (Morel, 1996). Aussi, l'absence d'oxygène est l'une des principale conditions (anaérobiose), car le nitrate est alors utilisé à la place de l'oxygène pour la respiration des bactéries. Le pH optimal se situe entre 6 et 8.

3.2.2.3- Immobilisation

L'immobilisation (ou l'organisation) est le processus inverse de la minéralisation où l'azote ammoniacal ou nitrique est assimilé et transformé en azote organique par la microflore.

Selon Stengel et al (1998), les plantes et les micro-organismes seront en compétition pour l'utilisation de NO_3^- ou NH_4^+. Ainsi 30 % de l'azote qui leur est apporté sont immobilisés par les microbes, et c'est l'azote ammoniacal qui est préférentiellement absorbé.

Ainsi l'assimilation de l'azote minéral du sol par les microorganismes telluriques et son engagement dans les molécules organiques à l'intérieur des cellules microbiennes est dénommée immobilisation brute ou réorganisation nette. C'est un processus qui entrave l'utilisation de l'azote minéral du sol par les végétaux supérieurs. Aussi l'azote minéral peut être immobilisée dans les tissus végétaux. Elle à été estimée dans la forêt ombrophile de la côte d'Ivoire à 470-1400 kg / ha (Bernhard in Bensid, 1996).

3.3- LE PHOSPHORE DANS LE SOL

Le phosphore est présent en quantités variables dans les minéraux silicatés mais il est l'élément principale dans la composition de minéraux phosphatés principalement : l'apatite (Frossard et al, 1995).

Ces concentrations dépendent de ses origines géologiques et des minéraux constructifs du sol (apatite, phosphates tricalciques amorphes ou cristallisées, phosphates de fer, d'aluminium et de magnésium) (Diehl, 1975). En effet, ces teneurs sont de l'ordre de 0,3 à 1% dans les sols dérivés de

roches cristallines ou volcaniques. Le phosphore est présent dans les terres essentiellement sous forme d'orthophosphate (Morel, 1996).

3.3.1- Etat du phosphore dans le sol

Le phosphore total du sol comprend une fraction minérale et une fraction organique La fraction minérale présente 50 à 70% du phosphore total (Pierzynsky in Razi, 2006), alors que le phosphore organique représente 25%. Cet élément se trouve dans le sol sous trois états : état libre, état de combinaison minérale et état de combinaison organique.

3.3.1.1- Phosphore libre ou forme ionique

C'est le phosphore dissout dans la solution du sol, forme ionisée de l'acide phosphorique qui se trouve sous deux formes $H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-} . Ces formes sont à l'origine de la nutrition phosphatée des cultures (Morel, 1996).

3.3.1.2- Le phosphore organique

Le phosphore organique peut constituer de 29 % à 65 % du phosphore total dans les horizons de surface (Harrisson, 1987). Il provient des litières, des résidus des cultures, du fumier, des lisiers et les résidus d'animaux, …etc. La concentration en phosphore organique d'un sol peut varier de quelques traces dans les régions arides à quelques centaines de ppm dans les sols forestiers (Sanyal et al, 1991).

Comme l'azote le phosphore organique subit des cycles de minéralisation et d'organisation. Les quantités de phosphore mises en jeu au cours de ces processus sont faibles.

Selon Brookes et al (1984), le phosphore microbien représenterait 2% à 24% du phosphore organique du sol. Ils proviennent en majorité des plantes où ils sont accumulés dans les graines. Les diesters de phosphates sont plus facilement sujets à la minéralisation que les monoesters.

3.3.1.3- Le phosphore minéral

Le phosphore minéral se trouve en majeure partie engagée dans des combinaisons avec l'aluminium, le fer, le calcium et le magnésium.

- les phosphates calciques sont représentés généralement par le principal minéral phosphaté des sols : l'apatite de formule générale $3Ca_3 (PO_4)_6CaX_2$, ou X représente OH^-, F^-, ou Cl^-. La fluoropatite est la forme la mieux représentée dans les roches ignées et mértamorphiques. La substitution de certains groupements phosphates par des carbonates CO_3^{2-} conduit à de nombreuses apatites carbonatées. Dans un environnement calcaire, l'apatite est un minéral très stable et se présente souvent dans la taille des sables, ce qui la rend aisément reconnaissable (Frossard et al, 1995).

- Il faut noter que pour les phosphates de fer et d'aluminium sont fréquent surtout dans les sols acides. Dans les sols bien drainés, ils sont représentés par les strengites $Fe(PO_4)2H_2O$, la variscite $AlPO_4 2H_2O$; dans les sols hydromorphes, la formation de la vivianite $Fe_3(PO_4)_2.8H_2O$ est mise en place (Morel, 1996).

3.3.2- L'adsorption du phosphore sur les constituants du sol

Les ions phosphates ont une charge électronégative, ils se trouvent alors adsorbés à la surface des particules constitutives du sol : les surfaces d'hydroxydes de fer et d'aluminium, les surfaces argileuses, la calcite: l'anion phosphorique se transforme progressivement en phosphate calcique, et sur les complexes organométalliques: l'ion métallique du complexe étant susceptible de retenir l'ion phosphorique (Morel, 1996).

3.3.3- Les surfaces réactives vis-à-vis des ions phosphates

3.3.3.1- Les surfaces du carbonate de calcium

Les surfaces du carbonate de calcium favorisent la nucléation et la croissance de phosphate de calcium. Freeman et Rowell (1981) ont montré ce phénomène par l'étude d'une surface de calcite au microscope électronique à balayage et par diffraction des rayon X. ils ont mis en évidence la nucléation du monocalcium-phosphate MCP, et de dicalcium phosphate DCP.

Carreira et Lajtha in Razi (2006), ont étudié la fixation du phosphore dans les sols calcaires (dolomitiques) méditerranéens. Le phosphore lié au calcium y était essentiellement composé d'apatite. Cependant, une partie du phosphore labile est apparue adsorbée sur les carbonates.

3.3.3.2- Les surfaces d'oxy-hydroxydes de fer ou d'aluminium

D'innombrables études ont montré l'adsorption du phosphore sur les surfaces d'oxyhydroxydes de fer (Fardeau et al, 1992).

3.3.3.3- Les surfaces d'argiles

L'adsorption spécifique sur les argiles semble relativement mineure comparativement à l'adsorption sur les oxy-hydroxydes de fer ou d'aluminium. L'adsorption spécifique sur les argiles peut se faire par échange de ligand, uniquement sur les bords des feuillets d'argile. Des complexes de sphère interne se formeraient aussi sur les surfaces d'argiles à charge permanente, par l'intermédiaire de cations polyvalents (Morel, 1996).

3.3.3.4- La matière organique

La matière organique forme des complexes stables avec les cations métalliques du sol : Fe, Al et Ca. Ces composés sont appelés composés organométalliques. Ces assemblages forment des colloïdes réactifs à l'égard des groupements phosphates.

Cependant, lorsque la matière organique est dissoute, elle joue aussi un rôle compétiteur vis à vis de l'adsorption des phosphates sur les oxydes et hydroxydes de fer ou d'aluminium et éventuellement sur les argiles (Hue in Razi, 2006).

3.3.4- Les facteurs influençant la disponibilité du phosphore

Parmi les facteurs pouvant influencés la disponibilité du phosphore :

- L'aération du sol est nécessaire pour le prélèvement du phosphore par les racines ; mais dans les sols compacts la plante n'absorbe pas convenablement le phosphore.

- la texture influe sur la disponibilité du phosphore; lorsque la teneur en argile augmente la rétention en phosphore augmente.

- la température influe sur les réactions biologiques et chimiques du phosphore, les températures faibles réduisent le taux de minéralisation du phosphore organique par diminution de l'activité microbienne, et elles diminuent aussi la croissance des racines et le taux de diffusion du phosphore.

- l'humidité du sol est nécessaire pour l'absorption des ions phosphatés par la plante, car la dessiccation diminue la solubilité des phosphates ; elle est aussi nécessaire aussi pour les processus de diffusion qui sont un moyen important de transport du phosphore dans la solution du sol jusqu'à la surface racinaire (Duthil, 1973).

- la matière organique augmente la solubilité du phosphore dans le sol par deux processus :

- des ions organiques peuvent occuper les sites de fixation du phosphore dans le sol

- les ions organiques constituent avec Ca^{2+}, Fe^{3+} et Al^{3+} des complexes oganomettalique.

La matière organique constitue une source importante de phosphore, et sa minéralisation libère du phosphate assimilable par la plante (Duthil, 1973). La décomposition de la matière organique donne des acides organiques qui dissolvent le phosphore minéral de fer et d'aluminium (Michel et al, 2003).

- le pH détermine les formes du phosphore dans le sol. Dans les sols acides les ions H_2PO_4 sont dominants, lorsque le pH augmente il y a d'abord la prédominance d'ions HPO_4^{2-} , ce ci est dû à

l'influence de la dynamique d'autres éléments tels que Ca^{2+}, Fe^{3+} et Al^{3+} (Duthil, 1973). En effet le phosphore minéral de la phase solide se devise en deux fractions :

- sels ou minéraux assez peu solubles.

- phosphates adsorbés à la surface des particules du sol

En ce qui concerne les sels particulièrement solubles, les plus importants cations responsables de la rétention du phosphore du sol sont le Ca^{2+}, le Fe^{3+} et le Al^{3+},

La concentration en ions phosphatés de la solution du sol dépend de la solubilité des sels signalés, des concentrations en Ca^{2+}, Fe^{3+} et Al^{3+} et du pH de la solution du sol. Le plus soluble des sels cités est le $CaHPO_4$, les phosphates de fer et d'aluminium sont peu solubles de même que les apatites.

La concentration en Fe^{2+}, Al^{3+} est contrôlée par les composés tels que $Al(OH)_3$ et $Fe(OH)_3$, cela veut dire qu'un pH bas (faible concentration OH^-) du sol peut entraîner une concentration élevée en Fe^{3+} et Al^{3+}, et en conséquence une faible teneur en phosphore de la solution du sol. L'élévation du pH par le chaulage diminue la concentration en Fe^{3+} et Al^{3+} et augmente la teneur en Ca^{2+} de la solution du sol. Dans la plupart des sols, la concentration de la solution du sol en ions phosphate est à son maximum aux environ des pH 6-7, une élévation du pH entraîne la précipitation du phosphore sous forme d'apatite $Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$ très peu soluble, le phosphore disponible diminue par conséquence. Le pH agit sur le phosphore par les réactions de protonation et de déprotonation (Hinsinger, 2001 in Razi 2006).

- les racines influent par la libération de substances acides permettant la solubilisation des éléments nutritifs du sol et favorisent la structure et le mouvement de l'eau dans le sol.

Aussi, l'incorporation des résidus dans le sol augmente l'activité microbienne, le phosphore peut être immobilisé par les microorganismes comme il peut être libéré.

3.4- LES SOLS CALCAIRES

Dans les régions méditerranéennes et sub-arides, il existe de nombreux sols à profil calcaire différencié, qui sont placés dans la classe des sols isohumiques. Ces sols sont polyphasés et correspondent à des migrations complexes de carbonates, non seulement verticales, mais aussi obliques, résultant d'une très longue évolution avec d'importantes variations climatiques ou de forts contrastes saisonniers (Ruellan, 1970).

Les sols calcaires en Algérie sont localisés dans la partie nord du pays. Cependant l'étude de Djili (2000) a montré que les faibles teneurs en calcaire se distribuent dans la frange nord, et les forts

taux de calcaire se localisent dans les sols des zones intérieures (steppiques et hauts plateaux). Toutefois, les sols calcaires sont distribués mieux entre les isohyètes 270 et 500 mm.

3.4.1- Origine, héritage et néoformation du calcaire

Selon Dutil (in Bonneau et Souchier (1979)), l'altération des roches calcaires laissent dans le sol des fragments de roche calcaire de dimensions diverses et en quantités variables selon la nature de la roche et les conditions de l'altération : pierres, cailloux, graviers et sable grossier. Ainsi, la fraction grossière du calcaire présente dans le profil correspond à un héritage direct de la roche mère sous jacente. Cependant, le calcaire est soluble et il peut se produire un enchaînement de phénomène de dissolution et de reprécipitation du carbonate de calcium. Dans un premier stade, le calcaire est dissous : c'est la décarbonatation qui libère des ions calcium. Ces ions sont déplacés par les eaux percolantes ou par diffusion, au sein des divers horizons du profil que sur les pentes des versants, et le transfert du calcium s'arrête avec la reprécipitation du carbonate de calcium. Dans ce cas, il y a un calcaire de néoformation.

3.4.2- L'altération des roches calcaire

3.4.2.1- La dissolution des carbonates et le transfert du calcium

Le phénomène est conditionné par la présence de gaz carbonique dans les solutions percolant à travers le sol. Ce gaz carbonique provient des systèmes racinaires actifs et de la décomposition de la matière organique du sol. Les ions bicarboniques formés en solution contribuent alors à la solubilisation de la calcite.

3.4.2.2- La reprécipitation du carbonate de calcium

La reprécipitation intervient avec la diminution des concentrations en anions, principalement HCO^-_3 et NO_3^- . Ainsi, si la dissolution de la calcite et le transfert du calcium s'effectuent pendant la période de drainage hivernal, la reprécipitation pourrait s'effectuer après l'arrêt de drainage (Duthil, 1973).

Le calcaire peut se distribuer et s'individualiser de trois façons différentes : soit sous forme diffuse où il est sous forme de particules égales ou inférieurs à 1 mm ; soit en distribution discontinue où les principales formes sont la forme en pseudo-myceliums, ferme en amas friable ou en nodules ; soit en concentration continue où l'horizon caractérisé par cette forme de calcaire est appelé encroûtement calcaire, on en distingue les encroûtements non feuilletés (massifs ou nodulaires), les encroûtements feuilletés (croûtes ou dalles compactes) et les encroûtements lamellaires ou pellicules rubanées (Djili et al, 1999).

3.4.3- Caractéristiques des sols calcaires

Lozet et Mathieu (in Zemoura (2006)), définissent un sol calcaire comme un sol contenant du $CaCO_3$ libre en quantité suffisante pour présenter une effervescence sous l'action d'HCL dilué à froid, et dénote classe 5 types d'effervescence en fonction de la teneur en $CaCO_3$ (tableau 05)

Tableau 0 5 : Teneur en $CaCO_3$

Teneur	Réaction à HCL	CACO3 en %
Très faible	décelable	< 2
Faible	Fiable	2 – 10
Moyenne	Moyenne	10 – 25
Forte	Vive	25 – 50
Très forte	Très vive	> 50

La présence de certaines plantes peut indiquer si le sol est calcaire ou acide. Par exemple, la présence du chêne liège et de la bruyère arborescente avec une bonne croissance est le signe d'un sol plutôt acide. En plus la nature de la roche mère est un bon indicateur, et les sols situés sur roche calcaire sont généralement basiques, leurs horizons superficiels sont souvent décarbonatés. Aussi, le pH qui est un coefficient caractérise l'acidité d'un sol (présence d'ion H^+) ou la basicité (généralement due à l'abondance d'ion calcium). Il définit la concentration d'ion H^+ dans la phase liquide du sol et varie de 0 à 14, on peut alors classer les sols selon leurs acidités comme suit :

Sols très acides : pH < 4.5

Sols faiblement acide : 4.5< pH < 6

Sols équilibrés permettant une bonne alimentation minérale : 6 < pH < 7

Sols calcaire et/ou salés : pH > 7

La plupart des sols calcaires sont regroupés selon la classification CPCS (1967) parmi les sols peu évolués, calcimagnésiques, isohumiques et les sols fersiallitiques à réserve calciques (Ruellan, 1976).

3.4.4- Décarbonatation et évolution pédologique des sols calcaires

Dans la classification française (CPCS 1967), les sols à profil calcaire sont regroupés dans la classe des sols calcimagnésiques, et cela ils concerne les rendzines, les sols bruns calcaires et les sols bruns calciques ; ces derniers sont monophasés et correspondant au point de vue processus évolutif à une décarbonatation progressive du profil (Duchauffour, 1988).

La dureté de la roche carbonatée conditionne fortement l'évolution pédogénétique. Les calcaires tendres donnent naissance à des rendzines, alors que les calcaires durs orientent la

pédogenèse vers les rendzines brunifiées ou les sols bruts calciques selon l'intensité du processus de décarbonatation (Dutil in Bonneau et Souchier, 1979).

Dans ses recherches, Djili (2000) a fait ressortir une relation significative entre les hauteurs des pluies et les taux de calcaire dans le sol. Les plus fortes teneurs de calcaires se situent dans la gamme pluviométrique comprise entre 270 mm et 500 mm et correspondent à l'étage bioclimatique semi-aride. Ces résultats suggèrent que la distribution du carbonate de calcium dans le profil est régie particulièrement par la pluviométrie annuelle. La morphologie du profil calcaire est alors tributaire de l'étage bioclimatique. Dans l'étage aride, le profil calcaire est relativement homogène alors que dans l'étage semi-aride, les accumulations calcaires sont importantes et bien différenciées dans le profil.

Mais dans l'étage sub-humide/humide, les sols sont relativement peu pourvus en calcaire surtout dans leurs horizons de surface et de sub-surface.

3.4.5- La dissolution des carbonates et le transfert du calcium

Le phénomène est conditionné principalement par la présence de gaz carbonique dans les solutions percolant à travers le sol ; Ce gaz carbonique provient des systèmes racinaires actifs et de la décomposition de la matière organique du sol.

Les ions bi-carbonate formés en solution contribuent à la solubilisation de la calcite, phénomène pouvant être complété par l'action de composés organiques solubles acides, issus également de la décomposition de la matière organique du sol (Dutil in Bonneau et Souchier,1979).

3.4.6- Présence du calcaire et nutrition des arbres

Le calcium est le principal cation d'échange dans le sol qui permet le bon fonctionnement au pouvoir absorbant, il agit favorablement sur la vie des micro-organismes et accélère la décomposition des matières organiques (Eliard, 1979).

L'absence ou la présence du calcaire influencent la nutrition des arbres et leur développement. Sur un sol acide où l'activité biologique est faible et la décomposition de la matière organique est lente, la litière formée par les feuilles et les aiguilles tombées va s'accumuler à la surface du sol. Une faible quantité d'éléments minéraux est alors recyclée et absorbée par les racines et les arbres vont croître difficilement dans ces conditions.

S'il y a excès de calcaire la surabondance des ions calcium exerce un antagonisme sur la disponibilité des autres éléments tels que le potassium ou le fer (Larrieu, 2006).

3.4.7- Rôle du calcium

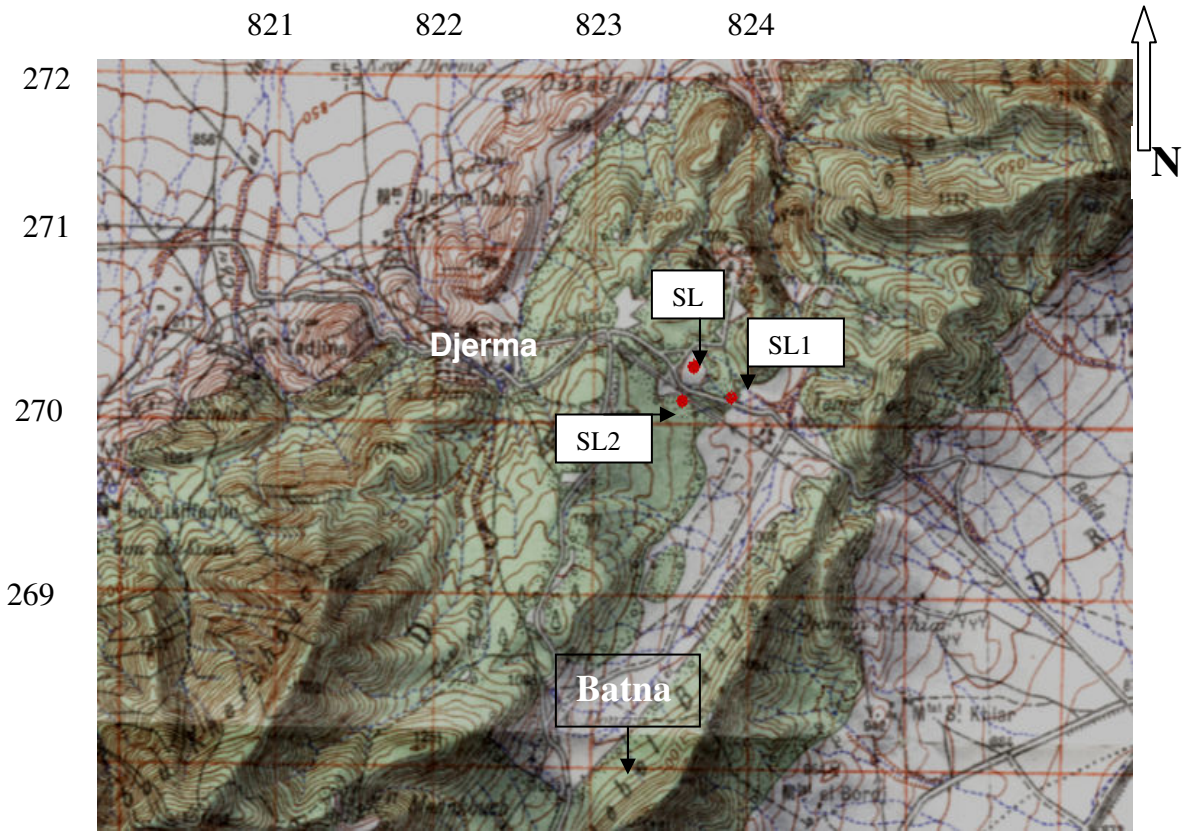
- Du point de vue **physique**, par son pouvoir floculant vis-à-vis des argiles et son rôle stabilisant pour les composés humiques, le calcium contribue fortement à la stabilité structurale des sols.
- Au point de vue **chimique,** il conditionne la réaction du sol. Une faible teneur en calcium est en liaison avec un caractère acide et une teneur élevée avec un milieu fortement basique.
- Au point de vue **biologique**, les végétaux présentent des affinités variables pour les milieux calcaires et il existe des plantes calcifuges et des plantes calcicoles (Bouneau et Souchier,1979).

CHAPITRE I

MATERIELS ET METHODES

1.1- LOCALISATION ET CARACTERISTIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

Les sols étudiés sont prélevés de la région de Batna (figure 03), plus précisément la forêt de Djerma qui se situe à 07 km au Nord de la ville de Batna. Administrativement, cette forêt domaniale dépend du parc National de Belezma.



Source : carte d'Algérie El Madher feuille N° 173-B9-C26
Echelle : 1 / 50 000

- ST : sol de la clairière;
- SL1 : sol de la pineraie ;
- SL2 : sol de la pineraie à chêne vert.

Figure 03 : Situation géographique de la forêt de Djerma

- CARACTERISTIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

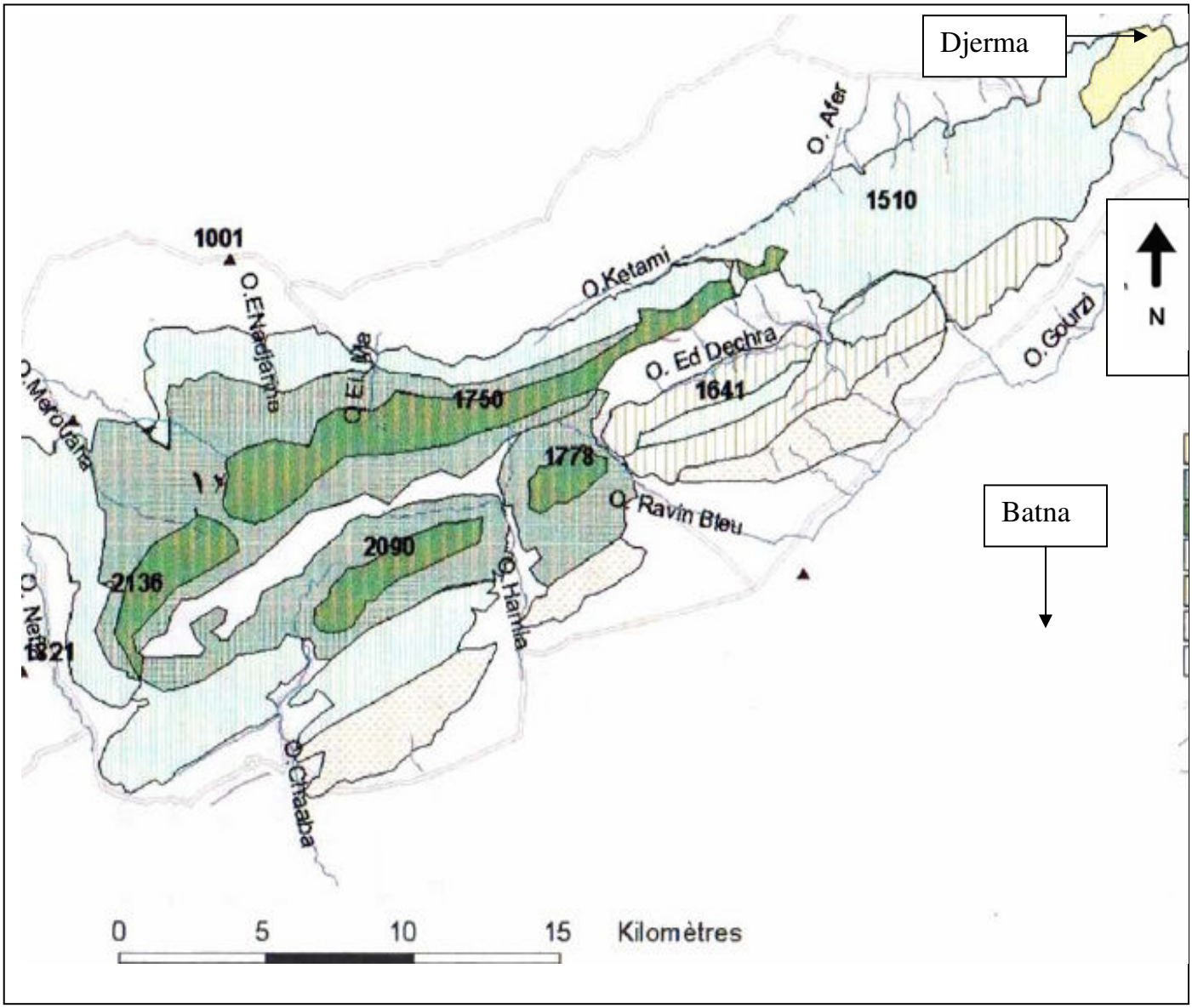
Ce massif forestier n'a pas fait d'études pédologiques approfondies (Khanfouci, 2005). Cependant, les études de reconnaissances faite par Schoenberger (1970) et par Abdessemed (1981) ont révélé l'existence de certains types de sols:

- Les sols bruns calcaires : ils se rencontrent sur des substrats marneux et calcaires, dans les bas de versants des djebels de Thouggourt, de Boumerzok et du Thichaou et cela à des altitudes comprises entre 1400 et 1600 m.

- Les sols bruns faiblement calcaires: ils sont peut répandus sur des grès, à des altitudes allant de 1600 à 2000 m. ils sont localisé dans les djebels de Bordjem, du Chelalaa et de Thniet El-Gontos.

- Les rendzines dolomitiques: elles sont formées sur des dolomies et des calcaires dolomitiques. On les rencontre à partir de 1600 sur les pentes fortes de Thouggour et Thichaou.

Les monts de Djerma se trouve dans la partie Nord –Est de Belezma, et il sont occupés par la futaie de pin d'Alep à l'aspect jardiné et peu dense (Sahli in Benzeroual, 2006). La végétation accompagnatrice est composée par le chêne vert (Q*uercus ilex)*, le genévrier oxycèdre *(Juniperus oxycedrus)*, le romarin *(Rosmarinus officinalus),* la globulaire *(Globularia alypum)* et le calycotome *(Calycotome spinosa)*



Source : Sahli in Benzeroual, 2006

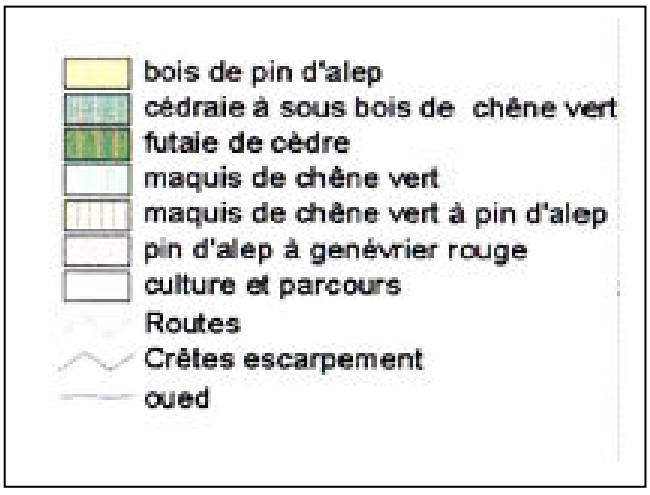


Figure 04 : Esquisse des couverts végétaux du Parc National de Belezma

1.2- MATERIEL D'ETUDE

1.2.1- Les sols

Les sols utilisés proviennent de la région de Djarma.

Les échantillons en été prélevés en mars 2003 sur l'épaisseur de 0-30 cm (Trembaly et al, 2002), représentant la couche hemi-organique, relativement riche en MO et dans laquelle se manifeste généralement une activité biologique élevée. Au plan forestier, ces sols caractérisent trois stations limitrophes qui sont:

- sol de la pineraie sous marnes,
- sol de la pineraie à chêne vert sous grès et,
- le sol témoin, d'une clairière.

Les échantillons sont séchés à l'aire libre, broyés puis tamisés à 2 mm en vue d'être utilisés comme substrats culturaux et d'être soumis à différentes analyses physiques et chimiques.

Station pineraie pure

Station pineraie à chêne vert

Clairière

1.2.2- les litières

Les litières employées ont été prélevées sous les houppiers des arbres sur toute l'épaisseur de la couche holorganique des deux stations :

- une litière monospecifique de pin dAlep : c'est une litière constituée exclusivement d'aiguilles de pin d'Alep.
- une litière mixte de pin d'Alep et de chêne vert : c'est une litière constituée d'aiguilles de pin d'Alep et de feuilles de chêne vert.

1.2.3- la plante test

La plante utilisée est l'essence principale constituant les deux stations, c'est le pin d'Alep (*Pinus hapepensis Mil).* Les semis de pin utilisés dans notre expérience proviennent de la région d'étude « Djarma ».

1.2.4- Les pots de végétation

La technique adoptée dans note expérience relève de la culture en pots. On a utilisé des pots en plastiques ayant une capacité de 5 kg, de forme conique et de fond perforé et pour chaque pot on a rajouté 4 kg de sol. Ces pots ont une hauteur de 22,5 cm et un diamètre de 24 cm .

1.3- METHODOLOGIE EXPERIMENTALE

1.3.1Objectif

L'objectif de l'étude est de suivre d'une part la mobilisation des deux éléments majeurs : l'azote (N) et le phosphore (P) dans deux stations forestières : une pineraie monospécifique et une pineraie-chênaie. Et d'autre part, il a été décidé d'effectuée le suivi de la croissance des plants en vases de végétation dans différents systèmes bio-écologiques : sol seul, sol-litière monospécifique de pin d'Alep et sol-litière mélangée de pin d'Alep et chêne vert, et ceci pour mettre en évidence les effets du couvert végétal sur le comportement des peuplements de pin d'Alep.

1.3.2- Description du dispositif expérimental

Le dispositif est une randomisation totale et comporte deux types de systèmes expérimentaux :

1.3.2.1- Les systèmes expérimentaux sol–litières (figure 05), installer en conditions de laboratoire dans le but de suivre la dynamique de l'azote (N) et du phosphore (P). Il compte 03 traitements (2 et 1 témoin), et chaque traitement a donné lieu à 03 répétitions :

- traitement 1 (ST : témoin) : sol clairière ;

- traitement 2 (SL1) : sol de pineraie + litière monospécifique (pin d'Alep);

- traitement 3 (SL2) : sol de pineraie à chêne vert + litière mixte (aiguilles de pin d'Alep + feuilles de chêne vert).

1.3.2.2- Les systèmes expérimentaux sol-litières-plantes qui a été installé dans le but de suivre le comportement des plantules de pin en conditions de laboratoire (figure 06), et en pots en plastiques d'une capacité de 5 kg. Ainsi les mêmes traitements précédents ont été reconduits dans les mêmes conditions en présence de 05 semis par traitement et chaque traitement a donné lieu à 05 répétitions. :

- traitement 1 (ST : témoin) : sol clairière + semis de pin d'Alep ;

- traitement 2 (SL1) : sol de pineraie + litière monospécifique (pin d'Alep) + semis de pin d'Alep;

- traitement 3 (SL2) : sol de pineraie à chêne vert + litière mixte (aiguilles de pin d'Alep + feuilles de chêne vert) + semis de pin d'Alep.

Aussi pour pouvoir suivre la dynamique de N, P, dans ces mêmes systèmes expérimentaux, trois traitements ont subis le dosage de ces éléments.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

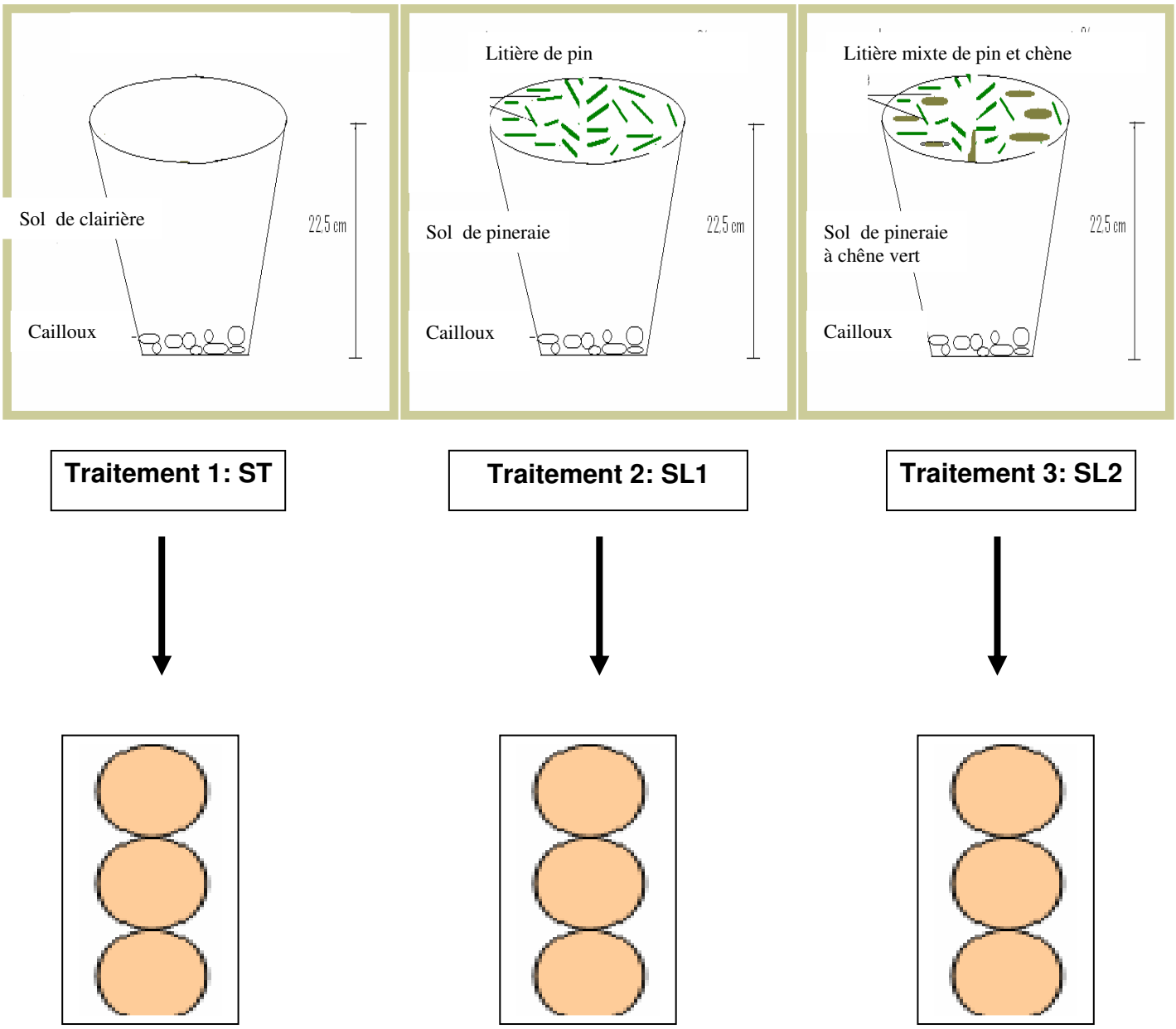


Figure 05 : Systèmes expérimentaux sols - litières

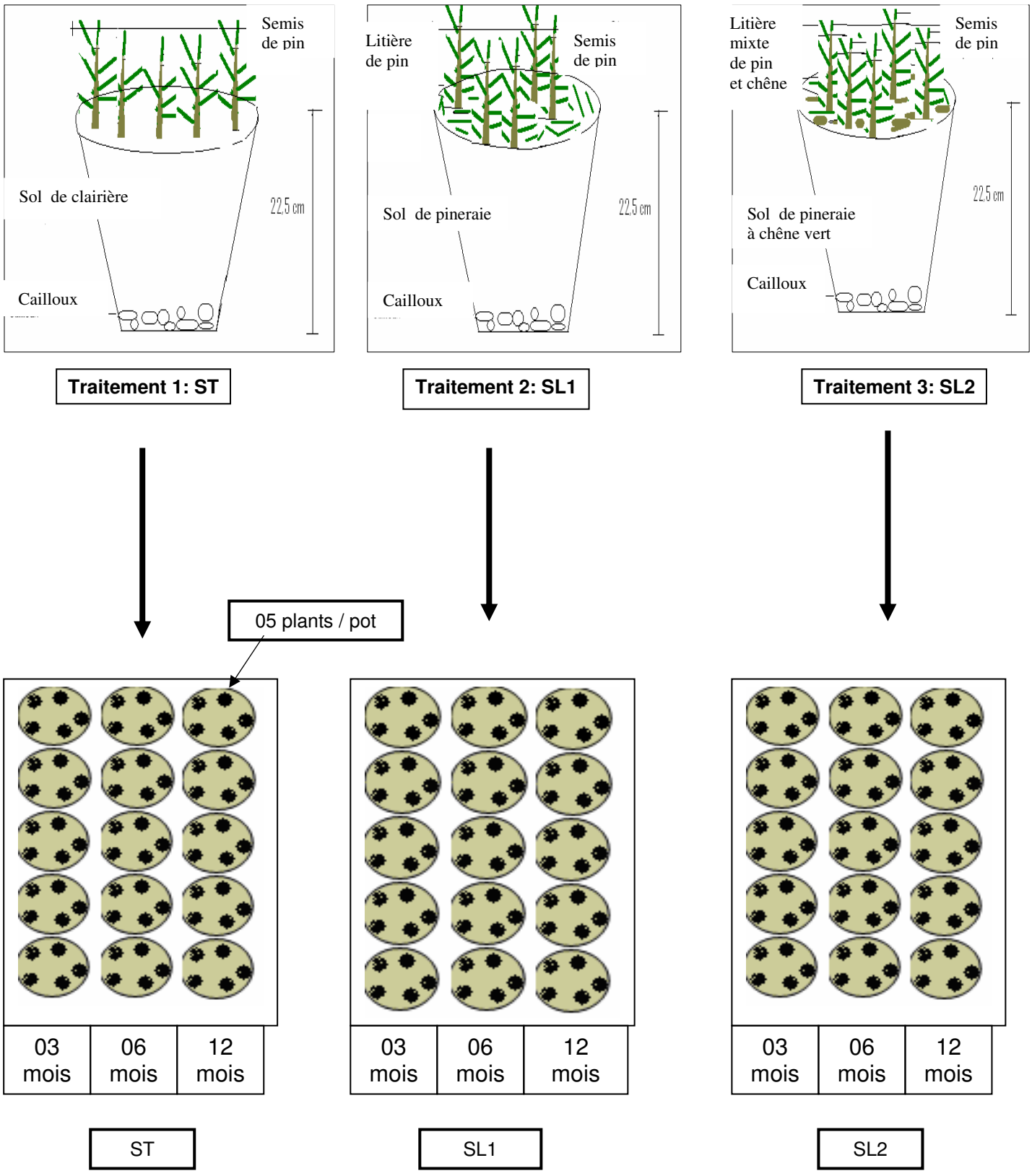


Figure 06 : Systèmes expérimentaux sols – litières - plantes

1.3.3- Mise en culture

Les graines de Pin d'Alep employées dans l'expérimentation qui présentent une faculté germinative très élevée de (87%) ont été enfouies dans les sols selon une densité de semis correspondant à 05 graines par pot et ce, pour assurer une bonne colonisation du substrat. Les graines ont été enfouies manuellement à une profondeur de 2 cm et réparties d'une façon homogène sur toute la surface du pot.

1.3.4- Irrigation

Une fois l'étape du remplissage des pots est terminée (mettre 4 kg de sol dans des pots d'une capacité de 5 kg) , on irrigue les pots et les sols au 2/3 de la capacité de rétention. Le sol a été maintenu par la technique de pesée près de la capacité de rétention durant 12 mois. Les pesées et les ajouts d'eau sont effectués tous les 2 à 3 jours.

La capacité de rétention a été déterminée par la méthode classique de Bouyougos.

Détermination de la capacité de rétention

La méthode de Bouyougos, utilisé consiste à saturer le sol avec l'eau et à le laisser ressuyer pendant 24 heures.

$$CR\ \% = \frac{P\ humide - P\ sec}{P\ sec}\ 100$$

Les résultats sont résumés dans le tableau n° 06

Tableau 06 : Détermination de la dose d'irrigation

Traitement	ST	SL1	SL2
CR en %	35 %	37.5 %	31.25 %
AU 2/3 de la CR (en %)	23.33	24.99	20.83
Pour 1 kg de sol	233.3	249.9	208.3
Pour 4 kg de sol	933.2	999.6	833.2
Poids sol-eau à garder constant (g).	4933.2	4999.6	4833.2

1.3.5- Conditions et durée de l'expérimentation

L'essai a été effectué sous des conditions de laboratoire et cela sous une température de 22 à 25°C, et une humidité de sol maintenue et égale au 2/3 de la capacité de rétention du sol.

Les pots ont été disposés de manière à subir un rayonnement solaire important (lumière). Ce sont des conditions de température et d'humidité favorables pour une bonne activité biologique (Dommergues et Mangenot, 1970 ; Morel, 1996).

L'expérimentation a été étalée sur une période de 12 mois (Mars 2003- Mars 2004) **.**

1.3.6- Prélèvement des échantillons de sol et du végétale

- Les échantillons du sol sont prélevés à 10 cm de profondeur à différents points du pot dans les systèmes expérimentaux sols – litières et les systèmes expérimentaux sols – litières – plantes après 03, 06 et 12 mois afin de suive l'évolution quantitative de N, P.

Ils sont laissés à l'air libre en vue d'être desséchés.

Ainsi le nombre total des échantillons des sols est de **54** (tableau 07)

Tableau 07 : nombre des échantillons de sols.

systèmes expérimentaux	ST			SL1			SL2			Total général
	03 mois	06 mois	12 mois	03 mois	06 mois	12 mois	03 mois	06 mois	12 mois	
Sols-litères	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	27
Sols-litères-plantes	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	03 E	27
total	06	06	06	06	06	06	06	06	06	**54**

NB : E : échantillons

- Les prélèvements de plantules de pin sont réalisés à partir des systèmes expérimentaux sols – litières – plantes, simultanément après 03 mois, 06 et 12 mois du semis, afin de caractériser la dynamique de la croissance de la biomasse.

Au cours du prélèvement, le matériel végétal récolté est nettoyé et débarrassé de sa terre sous un filet d'eau puis essuyé.

Ainsi, le nombre total de plants utilisés est de **225** plants (tableau 08).

Tableau 08 : nombre des plants utilisés.

	ST			SL1			SL2			Total général
	03 mois	06 mois	12 mois	03 mois	06 mois	12 mois	03 mois	06 mois	12 mois	
Nombre de plants	25 P	25 P	25 P	25 P	25 P	25 P	25 P	25 P	25 P	**225 P**

NB: P: plants

1.4- MESURES ET ANALYSES EFFECTUEES

1.4.1- Substrat

Les sols ont fait l'objet d'analyses chimiques :

- Dosage des éléments du sol non semés en azote et phosphore afin de suivre l'évolution du processus de mobilisation de N et P en fonction du temps dans les différents systèmes sols et sols-litières.

- Dosage des éléments N et P dans les échantillons pour les sols semés en graines de pin d'Alep, dans les différents traitements.

1.4.2-Caractères morphométriques et chimiques des plantules de pin d'Alep

Après chaque prélèvement d'échantillons végétaux; on effectue les mesures et les dosages suivants :

- Détermination de la quantité d'azote, de phosphore et de potassium assimilé par la plante.

- Mesures des poids secs des parties aériennes et racinaires (après séchage à l'étuve à 80° pendant 24 h) afin d'estimer l'influence de la litière sur la production de matière sèche et d'évaluer l'importance du système racinaire.

- Mesure de la hauteur et la longueur racines des plantules.

- Mesure du diamètre au collet.

- Mesure du nombre d'aiguilles des plantules à chaque prélèvement.

1.5- TECHNIQUE D'ANALYSE DES SOLS

1.5.1- Dosage de l'azote minéral

La détermination de l'azote minéral ($N\text{-}NH_4^+$ et $N\text{-}NO_3^+$ en ppm), est faite sur des échantillons frais immédiatement après le prélèvement. Cette technique repose sur la fixation, puis le dosage de l'azote d'une partie aliquote prise à partir d'une suspension faite de 5g de sol et 50 ml de KCl, après distillation, par entraînement à la vapeur, l'azote ammoniacal est piégé dans de l'acide borique (40%) en présence d'un indicateur coloré (le rouge de méthyle), puis il est dosé par de l'acide sulfurique le H_2SO_4(0,05 N).

L'autre forme de l'azote assimilable, c'est à dire l'azote nitrique est dosée en ajoutant dans le matras à distiller 2g d'alliage de DEWARDA qui réduit l'azote nitrique en azote ammoniacal. Nous procédons à une deuxième distillation dans les même conditions (Méthode de Brouineau et Gouny in Bonneau et Souchier, 1979).

1.5.2- Dosage de l'azote total

Nous avons utilisé la méthode Kjeldhal, qui consiste en la destruction de la matière organique à chaud par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur, par entraînement à la vapeur et piégeage par l'acide borique (40%) et titrage par l'acide sulfurique (0,05 N).

1.5.3- Dosage du phosphore assimilable

Le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode Joret-Hebert, il s'agit de faire une extraction à l'oxalate d'ammonium à 0.2N, le dosage s'effectue à l'acide ascorbique 0.1% et le réactif sulfomolybdique.

1.5.4- Détermination du phosphore et potassium contenu dans la plante

Méthode AUDIGE (1978); peser 0.4 g du végétal, incinérer au four à 500°c pendant 5 heures et ajouter 5 ml d'HCL à 20% de concentration. Doser le phosphore de la même manière que pour la méthode de Joret-Hebert.

1.5.5- Autre méthodes analytiques complémentaires

- pH : il est déterminé par le pH mètre selon le rapport sol/eau (1/2,5).

- **Granulométrie :** effectué par la méthode de la pipette Robinson.

- Calcaire total : technique du calcimètre Bernard.

- Le carbone organique : la méthode Anne.

- La matière organique : elle est obtenue en multipliant le taux de carbone organique par 1,72. **MO % = Teneur en C x 1,72**

- Capacité d'échange cationique : Méthode Nelson.

1.5.6- Méthodes statistiques

Nous avons procédé à une étude statistique basée sur l'analyse de la variance (test de fisher-Snedecor à l'aide du logiciel STATICF), et un classement des moyennes (test de Newman-keuls au seuil de 5 %) .

CHAPITRE II
RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1- INFLUENCE DU TYPE DE PINERAIES SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES DES SOLS EXPERIMENTAUX

L'observation des différentes caractéristiques entre les sols nous donne une indication des propriétés de ceux-ci (Tableau 09).

L'analyse granulométrique a révélé les textures suivantes :

- une texture limono-sableuse pour le sol de la clairière (ST) ;
- une texture sablo-argileuse pour le sol de la pineraie à chêne vert développé sur grès calcaire (SL2) ;
- Argilo-limoneux pour le sol de la pineraie développé sur des marnes (SL1).

Au plan granulométrique, Kadik (1987), soulignait que le pin d'Alep s'accommode d'une texture dominée par les sables et les limons, mais il s'accommode mal d'une dominance des éléments fins. Alors du point de vue textural, il semble que c'est la pineraie à chêne vert qui offre les meilleures conditions pour le développement du pin d'Alep.

Les sols des deux stations forestières présentent un PH basique lié à des teneurs en calcaire assez importantes de 46,41 % pour le sol de la pineraie et 24,5 % pour le sol de la pineraie à chêne vert ; en effet, cette différence est due à la nature du matériel parental.

Au plan chimique, les trois sols présentent des capacités d'échanges cationiques élevés avec des taux de carbone et d'azote suivant:

- 3, 89 % de carbone et 0, 24 % d'azote dans le sol de la clairière,
- 3, 89 % de carbone et 0, 14 % d'azote dans le sol de la pineraie et,

3,17 % de carbone et 0,21 % d'azote dans le sol de la pineraie à chêne vert.

Au plan biologique, le rapport C/N nous renseigne sur le rythme de minéralisation des deux éléments carbone et azote. Généralement, les éléments nutritifs deviennent assimilables lorsque le rapport C/N est inférieur à 30 (Welke et Fyles, 2005). Ce dernier est proche de 20 pour l'ensemble des sols étudiés traduisant une bonne activité biologique.

Les teneurs en MO sont importantes pour les trois sols et les humus notés dans les deux stations forestières sont de type mull.

Tableau 09 : Caractéristiques physiques et chimiques des sols étudiés

sols		Clairière (ST)	Pineraie chênaie (SL2)	Pineraie (SL1)
Granulométrie	A %	15,54	18,22	38,67
	LF %	21,11	13,29	34,76
	LG %	36,74	11,25	15,08
	SF %	16,15	33,17	9,66
	SG %	10,45	24,07	1,83
	Classe texturale	LMS	SA	AL
PH		8,42	8,53	8,57
Calcaire total %		23,39	24,5	46,41
Calcaire actif %		9.5	10	15
C %		3,89	3,89	3,17
N %		0,24	0,21	0,14
NH_4^+ en ppm		175	105	105
NO_3^- en ppm		210	105	105
C/N		16,2	18,52	22,64
MO %		6,7	6,7	5,36
P assimilable en ppm		48,25	36,01	38,30
K^+ meq/100g		1,15	0,98	0,63
CEC méq /100 g		26	25	28

2.2- INFLUENCE DU TYPE DE PINERAIES SUR LES QUANTITES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE

2.2.1- Effet du type de pineraies sur les quantités d'azote et de phosphore dans les systèmes expérimentaux : sols - litières

Après 12 mois d'expérimentation, nous observons (tableau10), des teneurs élevées en azote (N) et phosphore (P) dans le sol de la station forestière de type pineraie à chêne vert soient 140 ppm d'azote et 50,17 ppm de phosphore. Ces éléments atteignent des valeurs moins élevées dans le sol de la pineraie monospécifique de 93,33 ppm d'azote et 46,86 ppm de phosphore. Comparativement, le sol de la clairière non couvert de végétation forestière présente les plus faibles teneurs de 52,5 ppm d'azote (N) et de 39,07 ppm de phosphore (P).

Ces résultats montrent que les matières organiques issues de la pineraie à chêne vert (station mixte de feuillue et résineux) se recyclent rapidement comparativement à celles de la station de résineux (pineraie pure) ; cette forte biodégradation des composés organiques sous une couverture végétale mixte serait liée à la richesse du matériel végétal feuillu en substance hydrosolubles, en composés azotés et en éléments minéraux. En effet, la présence dans la litière des espèces feuillues de composés facilement métabolisables et de substances énergétiques facilement minéralisables de nature glucidique et protéique exercent un effet

stimulant vis-à-vis de la microflore tellurique en lui servant d'aliments énergétiques. Ce sont les feuilles riches en N qui sont les plus rapidement attaquées par l'activité biologique.

Il y a donc un effet « station » qui par la nature de la matière organique, stimule fortement l'activité des microorganismes du sol et joue le rôle d'accélérateurs dans le processus de décomposition de la litière et une solubilisation d'éléments chimiques. Par ailleurs, la réduction de l'activité minéralisatrice de la matière organique enregistrée dans les sols prélevés à partir de la pineraie pure serait liée à la présence dans les tissus des composés foliaires difficilement biodégradables. Cela pourrait s'expliquer par la vitesse de décomposition qui est plus rapide dans les feuilles de chêne vert que les aiguilles de pin d'Alep. Parallèlement, l'activité minéralisatrice évolue à un rythme relativement faible dans le sol de la clairière en raison de l'absence d'une véritable litière.

En définitive, nos résultats semblent conformes à ceux de plusieurs auteurs. Ainsi Bensid (1996), en comparant la dynamique des litières de deux stations forestières (pineraie et chênaie) a noté que les stations forestières à chêne vert (Quercus ilex) en haute altitude constituent des sites où l'ambiance pédologique est propice à un recyclage rapide des éléments biogènes et une meilleure activité biologique. Au contraire, dans les stations forestières à pin d'Alep toutes les activités biologiques et les groupes fonctionnels microbiens sont plus ou moins réduites sous l'effet des litières constituées d'aiguilles de pin d'Alep. Les mêmes constatations ont été faites par Voests et al (1975), concernant l'effet favorable qu'exerce un feuillu sur l'activité minéralisatrice de l'azote. En plus, Guesmia (1999), notait l'importance de la richesse des extraits des litières de chêne vert en acide et en éléments minéraux comparativement à ceux du pin d'Alep. Aussi, il a noté que l'extrait des feuilles vertes de chêne vert renferme une teneur en phosphore sensiblement plus importante (29 mg de P / 10g ms) que celle de l'extrait des aiguilles vertes de pin d'Alep (24 mg de P / 10 g ms).

Aussi, l'étude statistique portant sur l'effet de la station forestière sur la mobilisation de l'azote et du phosphore (N, P) à travers l'analyse de la variance au seuil de 5 % fait apparaître un effet significatif de la station pour l'azote (tableau 11) (avec F cal > F théo). Cependant le phosphore ne présente pas de différence significative ente les différents stations.

L'analyse de la variance a été complétée par le test de NEWMAN et KEULS pour la détermination des groupes homogènes qui sont présenté dans le tableau (12). Cette dernière montre que pour l'élément phosphore (P), il n'existe pas de différence significative entre les différentes stations. Cependant l'analyse détermine pour l'azote (N) deux groupes homogènes différents où la station pinède à chêne donne les meilleurs résultats de mobilisation de l'azote.

Tableau 10 **:** Teneurs en azote et phosphore dans le système sol - litière.

Sols	Eléments majeurs du sol	Traitements		
		Clairière	Pineraie	Pineraie à chêne vert
Sols sans cultures	N minéral en ppm	52,5	93,33	140
	P assimilable en ppm	39,07	46,86	50,17

Tableau 11 **:** Etude de la mobilisation de l'azote et du phosphore assimilables dans le système sol - litière : Analyse de la variance.

Source de variation	DDL	Azote (N)		Phosphore (P)		F théo
		C.M	F test	C.M	F test	
Facteur : station	2	5750,69	13	45,96	1,04	5,14
Résiduelle	6	442,36	/	44,35	/	/
Total	8	1769,44	/	44,75	/	/

Tableau 12 : Détermination des groupes homogènes de station par la teneur en azote et en phosphore.

Stations	Groupes homogènes	
	Azote (N)	Phosphore (P)
Station : pineraie à chêne	A	A
Station : pineraie	B	A
Station : clairière	B	A

2.2.2 - Effet du type de pineraie sur les quantités d'azote et de phosphore dans les systèmes expérimentaux : sols - litières – plantules de pin

Les résultats des sols avec semis (tableau 13), après une année d'expérimentation montrent que les teneurs en azote et phosphore des sols de la pineraie à chêne vert sont les plus élevées comparativement aux teneurs des sols de la pineraie et ceux de la clairière. C'est ainsi que nous enregistrons pour la pineraie à chêne les valeurs suivants : 105 ppm d'azote et 36,77 ppm de phosphore. Aussi, la composition minérale des sols de la pineraie révèle de meilleurs résultats par rapport à celles de la clairière qui sont successivement de 87,5 ppm et 35 ppm concernant l'azote. Cependant le phosphore ne présente pas de différence ente la pineraie pure et la clairière.

Donc la mobilisation de l'azote est plus marquée dans la pineraie à chêne vert que la pineraie pure. Probablement, à cause de l'effet de la litière qui stimule fortement l'activité des microorganismes du sol. La vitesse de décomposition d'une litière dépend non seulement du type de sol mais aussi de la nature des débris végétaux. Les litières de résineux se décomposent plus lentement que celles de feuillus (Dommergue, 1971). Ainsi les résultats concernant l'influence de la station sur la minéralisation révèlent que la station mixte de pin d'Alep et de chêne vert stimule mieux l'activité microbienne qui se traduit par une meilleure mobilité des éléments chimiques Net P.

Auparavant, Rapp (1967) avait souligné que l'apport régulier d'éléments minéraux se fait par l'intermédiaire de la litière, ce qui permet de compenser les pertes par entraînement et par enlèvements des racines. En effet, sous une végétation forestière, une partie des éléments libérés en profondeur par altération physico-chimique est absorbée par les racines et entre dans le monde vivant. Ces éléments vont être transférés du compartiment sol vers le compartiments organes végétaux et vont retourner dans le sol, assurant ainsi une recharge en éléments nutritifs par le haut (Ovington in Mangenot et Toutain, 1980).

En plus, cette stimulation du processus de mobilisation est sans doute due à la présence de l'ion Ca^{++}, et au taux de matière organique qui est plus élevé dans le sol de la pineraie à chêne vert avec une teneur de 6,7 % comparativement à celle de la pineraie où la teneur atteint 5,36 %. Ainsi, ces deux paramètres préservent une bonne structure des sols, ce qui permet une bonne perméabilité et par voie de conséquence une élévation de l'activité biologique des sols.

Tableau 13 : Teneurs en azote et phosphore dans le système sol – litière -plantule.

Sols	Eléments majeurs du sol	Traitements		
		Clairière	Pineraie	Pineraie à chêne vert
Sols cultivés	N minéral en ppm	35	87,5	105
	P assimilable en ppm	31,19	31,72	36,77

Conclusion

Les sols de la région de DJERMA se sont développés sur du grès calcaire dans la station mixte de pin et chêne vert et sur des marnes grises pour la pineraie monospécifique. Les pH sont basiques en relation avec des teneurs assez variables en calcaire et la nature des roches mères pédologiques.

L'analyse granulométrique fait ressortir que la station mixte s'est développée sur un sol à texture sablo-argileuse et que la station de pin présente un sol dont la texture est plus fine argilo-limoneuse. La capacité d'échange cationique des sols est bonne et elle se trouve en relation avec la teneur en MO et la teneur en argile des sols.

Nos résultats expérimentaux obtenus après une durée de 12 mois, montrent que les sols situés sous couverture forestière sont dotés d'un pouvoir de minéralisation relativement élevé. Elle est en partie responsable des fortes teneurs en azote minéral enregistrée dans le sol sous végétation mixte (de feuillue et de résineux), et ceci se traduit évidement par un C/N assez faible. Bien que, les coefficients de minéralisation se rapprochent, les uns des autres, la stimulation du processus de mobilisationde N dans le sol de la station mixte (feuillue et résineuse) pourrait être due a la richesse relative des feuilles du chêne vert en azote, en polysaccharide et autres aliments énergétiques stimulateurs de la biodégradation de la matière organique complexe des sols. Toute fois, les faibles nuances qui semblent différencier les sols des résineux de ceux des stations mixtes (de feuillue et résineux) pourraient être attribués à une variété de substance, libérées par les aiguilles de pin d'Alep et induisant une action dépressive vis-à-vis de l'environnement édaphique. Il se produit un effet inhibiteur de l'activité de la microflore tellurique responsable de la minéralisation des litières à la surface du sol. Pour Mangenot (1980), les conifères se distinguent non seulement par une pauvreté intrinsèque en substances hydrosolubles mais aussi par leur inaptitude à les libérer.

En plus, cette stimulation du processus de mobilisation est sans doute due à la présence de l'ion Ca^{++}, et au taux de matière organique élevé de 6,7 % dans le sol de la station mixte de pin d'Alep et chêne vert comparativement à celle de la station de pin d'Alep d'une teneur de 5,36 %. Aussi, le rapport C/N qui nous renseigne sur le rythme de minéralisation pour la pineraie chênaie avec un rapport de 18,52 comparativement à celui de la pineraie qui est de 22,64.

2.3 EFFET DU TYPE DE PINERAIES SUR LA DYNAMIQUE DES ELEMENTS CHIMIQUES N, P DANS LES SOLS EXPERIMENTAUX

2.3.1- Effet sur la dynamique des éléments N et P dans les systèmes expérimentaux : sols - litières

2.3.1.1- Effet sur la dynamique de l'azote minéral dans les systèmes expérimentaux : sols - litières

L'observation de la figure (07) fait ressortir une nette différence dans la teneur en azote des différents sols. Les quantités d'azote ainsi libérées diminue rapidement dans le sol de la clairière au cours du temps, et enregistre une valeur qui va de 204,16 ppm à 99,16 ppm dans les trois premier mois et continue de diminuer jusqu'à atteindre 64,16 ppm le sixième 06 mois. Alors que les quantités d'azote minéral disponible dans les sols forestiers diminue légèrement durant le premier trimestre et enregistre une baisse de 140 ppm à 128.33 ppm dans les sols de la station forestière mixte et une baisse de 140 ppm à 122.5 ppm dans les sols de la pinède pure. Aussi après 06 mois les quantités solubilisées pour cet élément sont plus intenses en présence des feuillages mixtes de pin et de chêne vert avec une teneur de 140 ppm contre 93.33 ppm pour la station forestière résineuse (pin). Ceci pourrait s'expliquer par la vitesse de décomposition qui est plus importante dans les sols de la pineraie mixte comportant notamment le chêne vert et le pin d'Alep que dans ceux de la pineraie monospécifique.

Duchauffour (1983), a souligné que les litières riches en substances hydrosolubles sont les plus rapidement décomposées. Et pour Mangenot et Toutain (1980), les pertes de composantes inorganiques par lessivage pendant 24 h à 25 °c atteignent 50 % pour le frêne, 15 à 17 % pour le chêne et le hêtre et s'abaissent à 3 et 5 % pour l'épicéa et le pin. On conclu que les hydrosolubles sont lessivés plus ou moins rapidement des feuilles de chêne vert que des aiguilles de pin d'Alep.

Les mêmes constats sont effectués par Voests et al (1975), concernant l'effet favorable qu'exerce un feuillu sur l'activité minéralisatrice de l'azote dans les sols.

Ainsi, 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. Pour assurer sa remise dans le circuit, il doit être restitué au sol sous forme inorganique et devenir de nouveau disponible pour les nouvelles synthèses et pour la croissance et le développement des végétaux. De ce fait, la végétation est un facteur essentiel

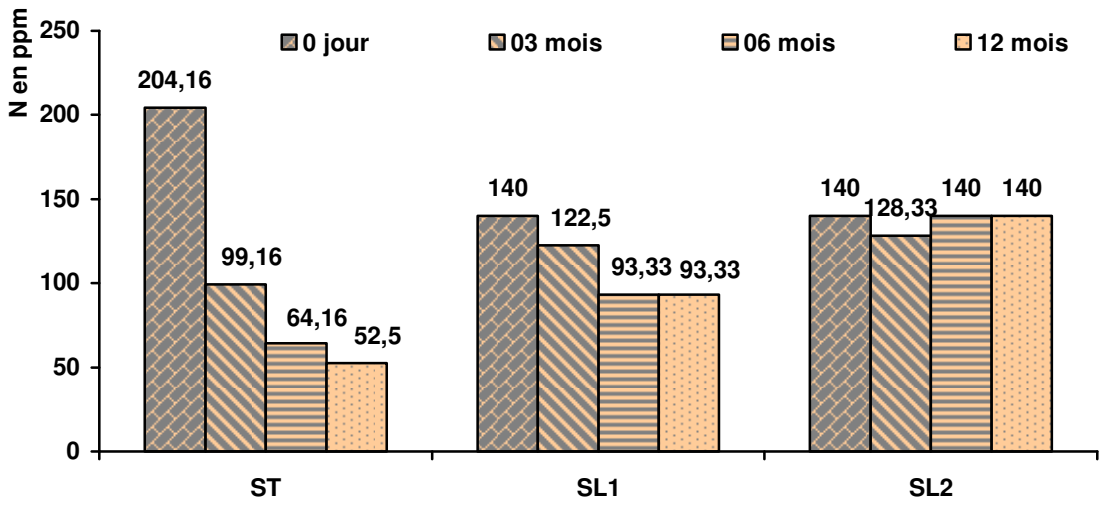


Figure 07 : Evolution de la teneur en azote minérale (en ppm) du sol-litière en fonction du temps

susceptible d'exercer une influence considérable sur le processus de dégradation de la matière organique par les micro-organismes du sol.

L'analyse de la variance au seuil de 5 % à deux facteurs (temps et station), révèle un effet significatif pour la mobilisation de l'azote (F cal > F théo) (tableau 14).

L'analyse de la variance a été complétée par le test de NEWMAN et KEULS pour la détermination des groupes homogènes (tableau15). Ce test présente deux groupes homogènes différents où la pineraie à chêne donne les meilleurs résultats en matière de mobilisation de N.

Tableau 14 : Etude de la minéralisation de l'azote assimilable dans le système sol - litière : Analyse de la variance.

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Facteur : station	2	3394,27	10,23	3,40
Facteur : temps	3	8265,91	24,91	3,01
Inter: F1 * F2	6	3859,32	11,63	2,51
Résiduelle	24	331,77	/	/
Total	35	1791,56	/	/

Tableau 15 : Détermination des groupes homogènes de station par la teneur en azote.

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie à chêne vert (SL2)	A
Station : pineraie (SL1)	B
Station : clairière (ST)	B

2.3.1.2 Effet sur la dynamique du phosphore dans les systèmes expérimentaux : sols – litières

Les résultats obtenus (figure 08) révèlent une légère diminution du phosphore du sol de la clairière au cours du temps avec des teneurs allant de 49,40 ppm à 39,07 ppm.

Cependant, c'est l'inverse qui se produit dans les autres sols forestiers, où il y a une évolution progressive de la quantité du phosphore sous l'effet station. Il s'avère que l'effet de la couverture végétale se traduit par une meilleure mobilisation d'éléments chimiques. Ainsi, la plus grande quantité de phosphore a été enregistré dans le sol forestier de la pinède à chêne vert avec 50,17 ppm comparativement au sol forestier sous résineux «pin d'Alep » avec une quantité de 46,86 ppm de phosphore et cela sur une période de 12 mois. Il en résulte que, c'est dans le sol développé sous végétation mixte (pinède à chêne vert) que l'activité microbienne est relativement très importante et elle induit une libération importante d'éléments minéraux dans le sol. Le chêne vert est alors considéré comme une espèce feuillue de type améliorant riche en substance hydrosolubles (sucres et acides aminés), et qui exerce un effet positif remarquable sur l'ambiance édaphique. Ainsi la minéralisation du phosphore est plus importante en présence des litières. Cet effet favorable des litières a déjà été signalé par Toutain (1981), Bensid (1996), Ghoul (1993), Benmessaouda (1999). De son côté, Berthelin in Abdelaziz (2003), avait quelques années avant remarqué que la mobilisation de certains éléments comme le phosphore était dû en grande partie à l'intensité des mécanismes acidolytiques et compexolytiques.

De son coté Ould rabah (1991), soulignait que la nature des litières joue un rôle important dans la mobilisation des éléments minéraux Fe, P, Na, Ca, K et Mg, et il a fait ressortir que l'espèce feuillue de chêne vert (Quercus ilex), solubilise mieux le Fe et le P ; dans le même temps, il constatait que la mobilisation des éléments précités est plus intense en présence du matériel végétal. Aussi Amar gadi (2000), nota que le phosphore est mieux mobilisé en présence du feuillage mixte, alors que Jaquin et Bruckert (in Ouled rabah (1991))

avaient signalés eux aussi une meilleure solubilisation du phosphore en présence de la litière de chêne.

Pour déterminer l'effet « station », une analyse de la variance pour l'élément phosphore a montré un résultat significatif (F cal > F théo) sur sa mobilisation (tableau 16).

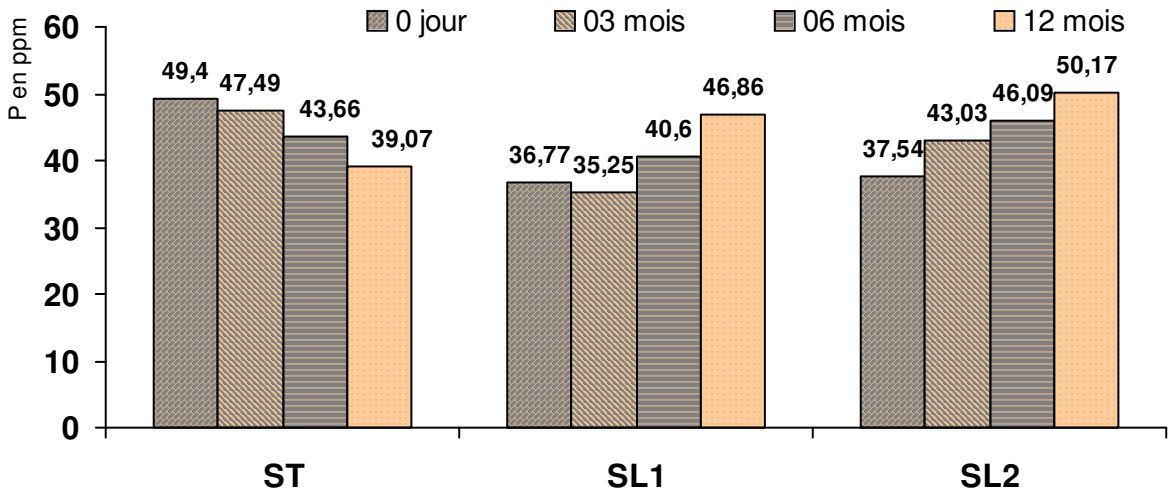


Figure 08 : Evolution de la teneur en phosphore assimilable du sol-litière en fonction du temps

Tableau 16 : Etude de la minéralisation du phosphore assimilables dans le système sol - litière: Analyse de la variance.

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Facteur : station	2	76,23	6,35	3,40
Facteur : temps	3	9,93	0,83	3,01
Inter: F1 * F2	6	86,01	7,16	2,51
Résiduelle	24	12,01	/	/
Total	35	28,19	/	/

2.3.2- Effet sur la dynamique des éléments N, P, dans les systèmes expérimentaux : sols – litières – plantules de pin

2.3.2.1- Effet sur la dynamique de l'azote minéral dans les systèmes expérimentaux : sols – litières – plantules de pin

Les résultats de la figure n° 09 montrent une baisse des quantités d'azote dès les 03 premiers mois pour l'ensemble des sols avec des teneurs allants de 140 ppm à 70 ppm dans les sols de la station mixte (feuillus et résineux), de 140 à 52,5 ppm dans les sols de la station

pure de pin et de 204,16 à 70 dans les sols de la clairière. Cependant, après le sixième mois l'inverse se produit dans les sols des stations forestières, et présentent une augmentation des quantités d'azote avec des teneurs, de 93,33 ppm dans les sols de la pinède à chêne vert et de 58,33 ppm dans les sols de la pinède. Par conte la quantité d'azote des sols de la clairière continues de diminués et enregistre une teneur de 46,66 ppm. Aussi après 12 mois les quantités solubilisées pour cet élément sont intenses en présence de feuillages mixtes de pin et de chêne vert avec une teneur de 105 ppm contre 87,5 ppm pour la station de pin (résineuse).

En effet, la végétation intervient en déterminant la nature et l'abondance des sources d'azote qu'elle apporte aux micro-organismes du sol. Les variations de l'activité biologique du sol, sont sous la dépendance des effets combinés de nombreux facteurs de l'environnement (Dommergues et Mangenot, 1970) ; dans les plus importants : l'humidité, la température et les substrats énergétique apportés par les végétaux. C'est par l'intermédiaire des substances fournies au sol par les litières que la végétation agit positivement ou négativement sur la microflore tellurique (Goma-tchimbakla et Roze in Bensid , 1997). Et dans notre cas, il s'agit de la station forestière mixte (feuillu et résineux) qui permet la formation d'une litière assez riche en azote minéral et fournit une multitude de substance facilement biodégradable favorable à une bonne activité biologique dans les sols.

Aussi, l'étude statistique effectuée à travers l'analyse de la variance au seuil de 5 % fait apparaître un effet «station » significatif (tableau 17) avec (F cal > F théo). L'analyse de la variance a été complétée par le test de NEWMAN et KEULS pour la détermination des groupes homogènes (tableau 18). Il permet de classer les traitements en deux groupes homogènes différents où la pineraie à chêne donne les meilleurs résultats en matière de mobilisation de N.

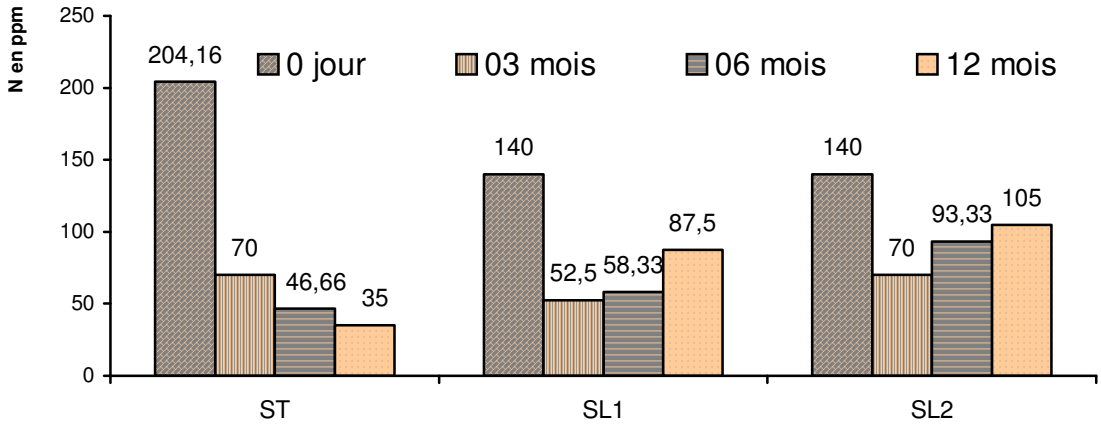


Figure 09 : Evolution de la teneur en azote minérale (en ppm) dans le système sol – litière - plantule en fonction du temps

Tableau 17 : Etude de la minéralisation de l'azote assimilables dans le système sol – litière - plantule : Analyse de la variance.

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Facteur : station	2	995,31	7,31	3,40
Facteur : temps	3	19563,13	143,73	3,01
Inter: F1 * F2	6	3059,67	22,48	2,51
Résiduelle	24	136,11	/	/
Total	35	2351,56	/	/

Tableau 18 : Détermination des groupes homogènes de station par la teneur en azote.

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie à chêne vert (SL2)	A
Station : clairière (ST)	B
Station : pineraie (SL1)	B

2.3.2.2- Effet sur la dynamique du phosphore dans les systèmes expérimentaux : sols – litières – plantules de pin

En analysant les résultats obtenus (figure 10), nous observons que les quantités solubilisées du phosphore dans le sol de la pineraie à chêne sont plus importante que celles observées dans le sol de la pineraie. Dans le sol de la clairière, on note une diminution progressive de la teneur du phosphore. Ainsi, nous avons enregistré au cours du troisième, sixième et douzième mois les quantités suivantes:

- 35.25 ppm, 29.12 ppm et 36.77 ppm de P sous pineraie à chêne.
- 32.25 ppm, 26.82 ppm et 31.72 ppm de P sous pineraie.
- 45.19 ppm, 36.77 ppm et 31.19 ppm de P sous clairière.

Nos résultats semblent concordants avec ceux de Jacquin et Bruckert (1976), qui ont constaté une meilleure solubilisation du P en présence de la litière de chêne. Aussi, l'étude de Ould rabah (1991) a montré que la solubilisation des éléments minéraux par la litière du chêne vert est plus intense pour le Fer et le phosphore comparativement à celle notée sous l'effet d'un résineux le cèdre.

En effet, la présence dans la litière des espèces forestières feuillues des composés facilement métabolisables et de substances énergétiques facilement minéralisables de nature polysaccharidique et protéique induit un effet stimulant vis-à-vis de la microflore tellurique en

lui servant de nutriments énergétiques. De son coté, Guesmia (1999), souligna que l'extrait des feuilles vertes de chêne vert renferme une teneur en phosphore sensiblement importante (29 mg de P / 10g ms) que celle de l'extrait des aiguilles vertes de pin d'Alep (24 mg de de P / 10g ms).

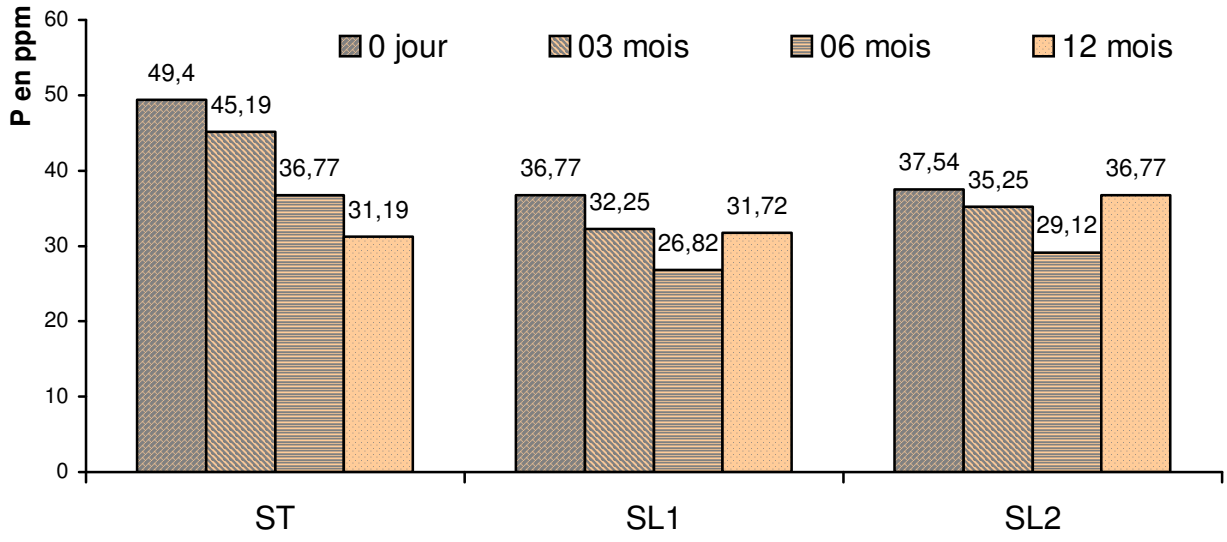


Figure 10 : Evolution de la teneur en phosphore assimilable (ppm) dans le système sol – litière - plantule en fonction du temps

2.4- INFLUENCE DU TYPE DE PINERAIE SUR LES CARACTERISTIQUES DES PLANTULES DE PIN D'ALEP

2.4.1 Effet du type de pineraies sur les caractères morphométriques de plantules de pin d'Alep

Il s'agit de faire une comparaison des différents caractères morphométriques (nombre d'aiguilles, hauteur de la partie aérienne, de la partie racinaire et diamètre au collet) entre les plants cultivés sur des différents substrats issus des stations suivantes : la pineraie à chêne vert, la pineraie et la clairière.

2.4.1.1 Effet sur l'appareil foliaire des plantules de pin

En analysant les résultats obtenus après 12 mois de plantations correspondant à la période expérimentale (tableau 19), nous constatons que les plantules développées dans les «stations forestières» se caractérisent par un meilleur développement de l'appareil foliaire comparativement a ceux de la clairière. Cela se traduit par un développement d'un nombre d'aiguilles de l'ordre de 643,6 pour les plantules développées dans la station mixte pineraie à chêne vert, de 585,4 pour les plantules de la pineraie et de 429,60 pour les plantules de la clairière.

Le meilleur développement de l'appareil foliaire enregistré dans la pineraie à chêne fait ressortir clairement le rôle de la station mixte (feuillus et résineux) dans l'enrichissement du milieu édaphique en éléments nécessaires à l'alimentation minérale. Cette formation de composés minéraux solubles (phosphates, nitrates, sulfates …) ou gazeux provient du processus de minéralisation et plus précisément c'est l'évolution de molécules organiques les quelles sont transformées sous l'influence microbienne en molécules minérales plus simples, susceptibles d'être prélevées par les plantes. Ainsi nos résultats viennent confirmer l'importance du rôle des espèces feuillues dans la stimulation de l'activité biologique des sols, en fournissant des substances nutritives et énergétique tels que les polysaccharides et acides aminés comme l'on souligné Dommergues et Mangénot (1970); la végétation intervient en déterminant la nature et l'abondance des sources du carbone et de l'azote qu'elle apporte aux micro-organisme du sol. Donc la végétation est un facteur essentiel susceptible d'exercer une influence sur le processus de dégradation de la matière organique par les micro-organismes. Ces derniers agissent sur la plante en mettant à sa disposition des molécules organiques absorbables par les racines et en améliorant sa nutrition minérale par solubilisation ou minéralisation de substances organiques.

Ainsi pour montrer l'effet relatif de la station sur le développement de l'appareil foliaire l'analyse de la variance au seuil de 5 %, à été effectué (tableau 20) et fait ressortir une différence significative entre les différents traitements (F cal > F théo).

Aussi le test Newmans et Keuls (tableau 21), permet de classer les traitements en trois groupes homogènes comme suit : pineraie à chêne > pineraie > clairière.

Tableau 19 : Comparaison du nombre d'aiguilles de jeunes plants de 12 mois cultivés sur des substrats de différents stations : clairière, pineraie et sol de pineraie à chêne vert.

	Clairière	Pineraie	Pineraie à chêne vert
Nombre d'aiguille	429,60	585,40	643,60

Tableau 20 : Etude des paramètres morphométriques : nombre d'aiguilles (Analyse de la variance)

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Fac : station	2	61214,07	198,98	3 ,89
Résiduelle	12	3691,6	/	/
Total	14	9008,55	/	/

Tableau 21 : Détermination des groupes homogènes : nombre d'aiguilles.

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie à chêne	A
Station : pineraie	B
Station : clairière	C

2.4.1.2- Effet sur la croissance en hauteur des tiges des plantules

Les mesures faites sur les parties aériennes après 12 mois montrent que la meilleure croissance en hauteur à été noté chez les jeunes plants des deux stations forestières comparativement a celles de la clairière. Cela se traduit par des hauteurs de l'ordre de 23,02 cm et 22,14 cm successivement pour les plantules de la pineraie à chêne vert et les plantules de la pineraie. Cependant, les plants de la clairière présentent une croissance moindre de 18,36 cm (tableau 22).

D'après ces observations, on peut attribuer l'augmentation de la croissance des plantules de pin sous la station mixte à la richesse de cette dernière en extraits hydrosolubles qui représentent pour la microflore tellurique des substances de choix (Jaquin et Brukert, 1976). En effet, ces substances ont produit un meilleur développement chez les plants de pin. Les travaux de Lê in Boukerker (1997), ont montré l'effet bien faisant de certaines combinaisons obtenues entre deux types de régulateurs (auxine et cytrokinine) sur l'amélioration du développement des végétaux.

Pour déterminer cet effet « station », une analyse de la variance est réalisée et a donnée un résultat significatif (tableau 23). Le test de Newman et keuls (tableau 24) permet de classer les traitements en deux groupes le premier est composé par la station pineraie à chêne vert et la station pineraie, le second groupe est formé par la clairière. Donc, il y a effet stations forestières positif sur la croissance de la hauteur aérienne.

Tableau 22: Comparaison de la hauteur aérienne de jeunes plants de 12 mois cultivés sur des substrats de différents stations : pineraie à chêne vert, pineraie et clairière.

	Clairière	Pineraie	Pineraie à chêne vert
Croissance de la hauteur aérienne (cm)	18,36	22,14	23,02

Tableau 23 : Etude du paramètres morphométrique croissance aérienne : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Fac : station	2	29,56	9,39	3,89
Résiduelle	12	3,15	/	/
Total	14	6,92	/	/

Tableau 24 : Détermination des groupes homogènes de station de la croissance en hauteur

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie à chêne	A
Station : pineraie	A
Station : clairière	B

2.4.1.3- Effet sur la longueur racinaire des plantules

En comparant les résultats obtenus au cours de cette période fixée toujours à 12 mois (tableau 25), nous notons que la croissance de la longueur des racines est de l'ordre de 44,56 cm pour les jeunes plantules de la pineraie contre 30,86 cm des plantules de la pineraie à chêne vert, et 23,82 cm pour ceux de la clairière. Ces valeurs indiquent qu'il y a un grand développement des racines des plants de la pineraie.

Cette bonne croissance des racines notée sous l'effet stations forestières est probablement due au fait que la végétation ait stimulé l'activité des microoganismes qui a leur tour ont pu synthétiser des substances de croissance. L'ensemble des interrelations qui se manifeste entre les végétaux supérieurs et les microorganismes telluriques au niveau des racines sont connus sous le nom effet rhizosphère. Comme l'ont soulignés Dommergue et Mangenot (1970), les effets exercés par les substances d'origine végétale sur les micoorganismes, qu'ils soient favorables ou défavorables vont se répercuter indirectement sur le comportement des végétaux (croissance et développement) et par conséquent influencent fortement la nutrition minérale des plantes.

Si l'on établi pour les différents systèmes le rapport suivant

$$R = \frac{\text{Hauteur partie aérienne}}{\text{Hauteur partie souterraine}}$$

Cela donne lieu aux résultats suivants :

- R = 0,74 pour la pineraie à chêne vert,
- R = 0,49 pour la pineraie

Donc, le développement excessif en longueur de la partie racinaire des jeunes plantules issus de pineraie exprimée par le rapport R traduit l'effet défavorable qu'exerce un résineux.

L'analyse de la variance effectuée montre l'existence d'une différence significative entre les différents traitements (F cal > F théo),(tableau 26). Le test de Newman et keuls classe les traitements en deux groupes le premier est composé par la pineraie et le second groupe est formé par la pineraie à chêne vert et la clairière (tableau 27).

Tableau 25 : Comparaison de la longueur totale des racines des jeunes plants de 12 mois cultivés sur différents substrats : sol de clairière, sol de pinède et sol de pinède à chêne vert

	Clairière	Pineraie	Pineraie à chêne vert
Croissance de la hauteur des racines (cm)	23,82	44,56	30,86

Tableau 26 : Etude du paramètres morphométrique longueur racinaire: Analyse de la variance

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Fac : station	2	556,17	18,04	3,89
Résiduelle	12	30,84	/	/
Total	14	105,88	/	/

Tableau 27 : Détermination des groupes homogènes de station de la croissance en hauteur

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie	A
Station : pineraie à chêne	B
Station : clairière	B

2.4.1.4- Effet sur la croissance radiale des plantules de pin

Au plan de la croissance des diamètres au collet des plantules, on enregistre des diamètres de 2,08 mm pour les jeunes plants de la station mixte pinède à chêne vert et de 1,82 mm de diamètre pour les plants de la clairière ; cependant les plants de la pinède ne marquent que 1,42 mm de diamètre (tableau 28).

Il semble que cette différence notée au niveau des diamètres qui s'établit en faveur des plantules de la station mixte est toujours due soit à la nature des composés organiques ou à la quantité des substances hydrosolubles ou encore à la vitesse de lessivage des diverses substances acides à partir de la litière mélangée (pin et chêne). Cet aspect est aussi lié à la nature des micro-oganismes associés à la litière Mangenot et Toutain (1980) ; ceci nous à mené à dire que la végétation mixte induit un apport supplémentaire en substances hydrosolubles et en acides aminés qui entraîne un enrichissement du sol et c'est ce qui se répercute positivement sur les rendements des cultures. Aussi Seater et al in Trembaly et Ouimet (2002), ont déduit que la présence de feuilles d'essences feuillues dans la litière agit non seulement sur la qualité de l'humus et son taux de décomposition, mais sur la composition de la faune du sol.

Par ailleurs, les résultats obtenus par l'analyse de la variance au seuil de 5 %, sont significatifs (F cal > F théo) (tableau 29). Aussi le test de Newman et keuls (tableau 30) permet de classer les traitements en trois groupes comme suit : pineraie à chêne vert > clairière > pineraie.

Tableau 28 : Comparaison du diamètre au collet de jeunes plants de 12 mois cultivés sur différents stations : clairière, pineraie et pineraie à chêne vert.

	Clairière	Pineraie	Pineraie à chêne vert
Diamètre au collet (mm)	1,82	1,42	2,08

Tableau 29 : Etude du paramètre diamètre au collet : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Fac : station	2	0,55	19,28	3,89
Résiduelle	12	0,03	/	/
Total	14	0,1	/	/

Tableau 30 : Détermination des groupes homogènes par le diamètre au collet.

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie à chêne (SL2)	A
Station : clairière (ST)	B
Station : pineraie (SL1)	C

2.4.2- Effet du type de pineraie sur les biomasses végétales aérienne et souterraine des plantules

Au plan quantitatif, la biomasse aérienne produite atteint 0,59 g/plant chez les plantules de la pineraie à chêne vert et de 0,56 g/plant chez les plantules de la pineraie comparativement à celle de la clairière qui est de 0,37 g/plant. La biomasse de la partie souterraine enregistre dans l'ordre décroissant pour la pineraie à chêne vert et la station de pin d'Alep les valeurs suivants : 0 ,11 g/plant et 0,09g/plant. Les plants de la clairière ne produisent que 0,07 g de matière sèche/plant de pin d'Alep.

Ainsi, la biomasse totale produite est plus élevée pour la station forestière mixte soit 0,7 g/plant suivie de la pineraie avec une quantité de 0,65 g/plant et enfin les plants de la clairière qui présentent la valeur la plus basse soit 0,44 g/plant (tableau 31). Ceci s'explique toujours par l'effet station qui se traduit par une plus grande production de biomasse végétale totale sous pineraie à chêne. Ce type de végétation mixte se comporte comme une source d'éléments nutritifs qui sont libérés progressivement sous l'action des microflores telluriques et qui semble influencer favorablement certains facteurs exogènes les plus importants pour

l'expression des potentialités organogénétique des tissus, des régulateurs de croissance en particulier les auxines et les cytokinines, c'est ce qui à été souligné également dans les travaux de Margara et Rancillac (in Abdelaziz, 2003).

A mesure que les éléments nutritifs sont utilisés par les microorganismes, ils deviennent immobilisés dans la biomasse microbienne et ne peuvent être assimilés par les plantes. Dans un sol pauvre en éléments nutritifs, cette immobilisation pourrait provoquer des problèmes temporaires de nutrition chez les arbres. D'autre part, en présence d'une abondante matière organique à rapport C/N relativement faible, il est possible de fournir des éléments nutritifs aux plantes beaucoup plus facilement et de réduire l'immobilisation par les décomposeurs. Welke et Fyles (2005), rapportent que lorsque les microorganismes décomposent la matière organique, ils ont besoin d'un bon approvisionnement en N et en P pour vivre et pou se développer.

Aussi, les résultats de l'analyse de la variance reportés dans le tableau (32) donnent un résultat significatif pour la biomasse aérienne. Alors que pour la biomasse racinaire il n'existe pas de différence significative. Le test de Newman et keuls permet de classer les traitements en deux groupes le premier est composé de la station pineraie à chêne vert et la station pineraie, le second groupe est formé par la clairière (tableau 33).

Tableau 31 : Caractéristiques pondérales des jeunes plants de 12 mois cultivés sur sol de clairière, sol de pineraie et sol de pineraie à chêne vert

	Clairière	Pineraie	Pineraie à chêne vert
Matière sèche aérienne (g/plant)	0,37	0,56	0,59
Matière sèche des racines (g/plant)	0,07	0,09	0,11
Matière sèche total (g/ plant)	0,44	0,65	0,7

Tableau 32 : Etude des paramètres pondéraux (matière sèche aérienne**,** matière sèche des racines) : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	Matière sèche aérienne		Matière sèche des racines		F théo
		C.M	F test	C.M	F test	
Fac : station	2	0,07	5,59	0	3,57	3,89
Résiduelle	12	0,01	/	0	/	/
Total	14	0,02	/	0	/	/

Tableau 33 : Détermination des groupes homogènes de station par la matière sèche aérienne et la matière sèche des racines.

Stations	Groupes homogènes	
	Matière sèche aérienne	Matière sèche des racines
Station : pinède à chêne (SL2)	A	Non significatif
Station : pinède (SL1)	A	
Station : clairière (ST)	B	

2.4.3- Effet du type de pineraie sur les prélèvements (N, P, K) par les plantules

En analysant les résultats obtenus au cours de l'expérience, nous constatons que les quantités d'N présentes dans la biomasse végétale des plantules subissant l'influence des stations forestières sont toujours supérieures à celles présentées dans les plants sous clairière (tableau 34). Les teneurs enregistrées peuvent être classées selon un ordre décroissant comme suit : 2,68 % pour la station mixte de pin d'Alep à chêne vert, 2,3 % pour la pinède et 1,97 % pour la clairière.

Cela peut être dû à une bonne activité minéralisatrice de l'azote organique sous l'effet de la végétation mixte (pineraie à chêne), d'une part et à une grande fixation de ce composé par certaines souches spécialisées d'autre part (Dommergue, 1971). La station mixte induit une grande rétention d'azote par les plantules de pin et ce sont les plantules dont la croissance est la plus élevée qui possèdent des concentrations élevées en azote comparativement à ceux qui présentent une faible croissance.

Aussi nous constatons que les quantités de phosphore fixé par les plantules sont nettement supérieures dans la station pinède à chêne vert avec une teneur de 0,45 % comparativement à la station de la pinède et la clairière qui sont respectivement de 0,41% et 0,40 %. Cette différence de mobilisation du phosphore entre les différents station est probablement due à l'effet des résidus organiques d'origine végétale ou microbienne les quelles augmentent la solubilisation du P. Alors la matière organique issue de la station mixte subit un processus de minéralisation microbienne qui va accroître la réserve minérale du sol. Il y aurait une forte prolifération microbienne qui provoque la solubilisation du phosphore.

Concernant le potassium, nous constatons que la teneur est pratiquement égale pour l'ensemble des traitements avec 0,28 % et 0,33 %. Il ressort que le K, est faiblement mobilisé même dans les stations forestières ; ce phénomène pourrait être du à une forte activité biologique et à la présence d'une grande quantité de microorganismes, qui probablement

induisent une immobilisation du potassium comme il a été déjà signalé par Weed et al in Berthelin et Toutain (1979).

Tableau 34 : Teneurs en éléments N, P, K des plants de pin d'Alep après 12 mois d'expérimentation.

	Clairière	Pineraie	Pineraie à chêne vert
N %	1,97	2,3	2,68
P %	0,202	0,205	0,226
K %	0,896	0,978	1,06

Conclusion

L'analyse des résultats relatifs aux caractères dimensionnels du pin d'Alep après 12 mois de plantation montre, que ce sont les sujets subissant l'effet des stations forestières qui se caractérisent par une meilleur croissance et un meilleur développement comparativement a ceux de la clairière. Les jeunes plantules de la station forestière pineraie à chêne vert présente les plus fortes valeurs du développement de l'appareil foliaire, une plus grande croissance en hauteur totale et un plus grand diamètre au collet. Aussi les mesures de la hauteur moyenne des plants de la pinède à chêne sont de 67,7 cm et ceux de la pinède sont de 52,93 cm et la plus faible valeur obtenue et de 42.18cm pour les plants de la clairière. Ces données montrent que l'écart entre la plus grande valeur et la plus faible est assez important de 25.52 cm. Les travaux de Kadik (1987), sur le comportement de différentes provenances de pin d'Alep, ont montré que la hauteur moyenne (en cm) des provenances subsahariennes est entre 62 et 63.cm. Aussi, ce sont les plants issus de la station mixte qui présentent une production de biomasse importante que celle des autres avec un poids de matière sèche totale de 0.72 g/plant.

En résumé, l'effet station forestière se traduit par une amélioration de la croissance des plantules de pin. Ainsi, une station mixte semble favoriser une meilleure assimilation des éléments N, P par les plantules en raison de la richesse de ces litières en extraits hydrosolubles qui représentent pour la microflore tellurique des substrats de choix. Cela pourrait conduire à une amélioration des propriétés physique, chimique et biologiques des sols et une meilleure dynamique des plantules.

Aussi, la meilleure assimilation des éléments nutritifs par les jeunes plants de la pineraie chênaie, s'expliquerait par l'effet de cette dernière qui représente un apport en carbone, en azote et en nutriments que vont se partager les jeunes plantules et les organismes édaphiques. Aussi, les conditions expérimentales adoptées ont induit une augmentation de l'activité des micro-organismes et une stimulation du processus de minéralisation en conséquence.

2.5 EFFET DU TYPE DE PINERAIE SUR LA DYNAMIQUE DE CERTAINES CARACTERISTIQUES DES PLANTULES DE PIN

2.5.1 Effet du type de pineraies sur la dynamique des caractères morphométriques de plantules de pin d'Alep

2.5.1.1- Effet sur l'évolution du nombre d'aiguilles des plantules de pin d'Alep

L'observation des résultats fait ressortir que le développement de l'appareil foliaire durant les six mois qui ont précédé le semis des graines ne révèle pas de différence pour l'ensemble des plants des stations forestières et de la clairière. Et ce n'est qu'après une période de 12 mois de semis qu'apparaît une différence dans l'évolution de l'appareil foliaire. Ainsi, le nombre d'aiguilles le plus élevé est observé chez les plantules de la pineraie à chêne où nous enregistrons le nombre de 643,5, ils sont suivi par les plants de la pineraie avec un nombre de 585,4 et enfin les plants de la clairière donne un nombre de 429,6 aiguilles (figure 11).

Cette influence favorable de la station mixte est probablement due à la présence d'un nombre important des micoorganismes (Trumbore, 1997), stimulés par les matières organiques émanant d'une végétation mélangée de feuillu et résineux. Cette activité des microorganismes induit une forte mobilisation d'éléments nutritifs et la synthèse de substances de croissance (Strog et Phillips, 2001).

En fait, dans la station mixte les micro-oganismes stimulés par les sécrétions foliaires et les exsudats racinires agissent sur la plante en mettant à sa disposition des molécules organiques absorbables par les racines et en améliorant sa nutrition minérale par un processus de solubilisation des minéraux ou une minéralisation de substances organiques.

Par ailleurs, l'analyse statistique de la variable appareil foliaire dans le tableau (35) donne un résultat significatif. Le test de NEWMAN et KEULS (tableau 36) permet de classer les traitements en trois groupes homogènes comme suit : pineraie à chêne > pineraie > clairière.

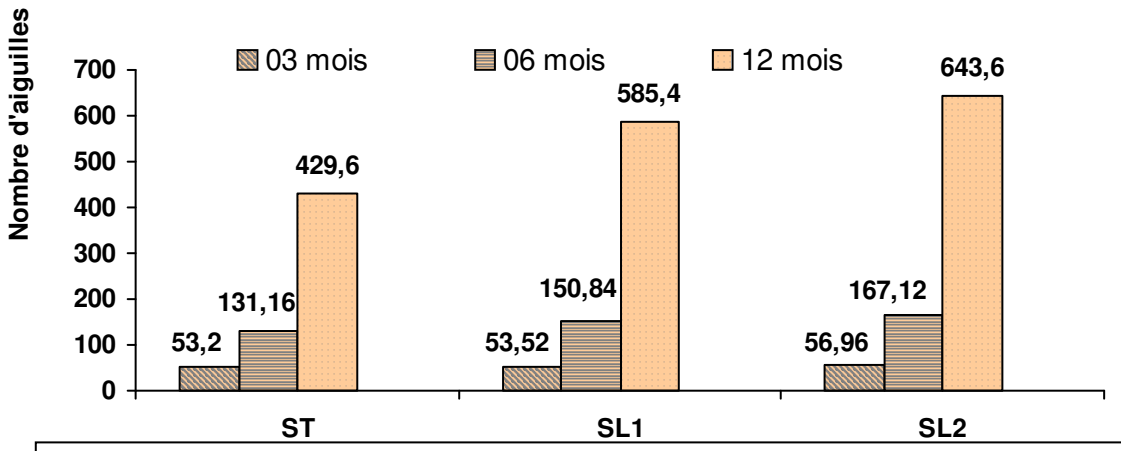


Figure 11 : évolution du nombre d'aiguilles des jeunes plantules de pin d'Alep

Tableau 35 : Etude du paramètre « nombre d'aiguilles » : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Facteur : station	2	28153,13	105,71	3.27
Facteur : temps	2	1049751	3941,80	3.27
Inter: F1 * F2	4	17351,94	65,16	2,64
Résiduelle	36	266,31	/	/
Total	44	50790,98	/	/

Tableau 36 : Détermination des groupes homogènes de station par le nombre d'aiguilles.

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie à chêne vert (SL2)	A
Station : pineraie (SL1)	B
Station : clairière (ST)	C

2.5.1.2- Effet sur la dynamique de la croissance en hauteur des tiges des plantules

En observant la figure n°12, nous constatons que la différence observée dans les hauteurs n'apparaît qu'après 12 mois, et qu'il s'est produit un meilleur développement des parties aériennes pour les plantules des stations forestières comparativement aux plantules de la clairière.

L'absence d'une différence notable dans la croissance des parties aériennes observée durant les six premiers mois peut s'expliquer par le caractère héréditaire des graines particulièrement l'importance des réserves. Cela a déjà été signalé par Gay (in Abdelaziz,

2003) dans son étude menée sur le pin d'Alep, où il a constaté que les réserves contenues dans les graines peuvent assurer une croissance et un développement satisfaisant des jeunes plants jusqu'à l'âge de 07 mois et peut être plus. Aussi Abourouh (1983), a indiquer que la croissance juvénile est principalement influencée par le facteur héréditaire et beaucoup moins par le facteur environnemental.

Cependant, la stimulation de la croissance et du développement chez les jeunes plants de pin sous pineraie à chêne et sous pineraie pure, semble être lié à une amélioration des conditions au plan biologique. Il y avait une meilleure nutrition des plants en présence des litières et cela est lié à la richesse du milieu édaphique en composés organiques; sucres simples, acides aminés, acides organiques, enzyme qui stimulent la microflore et la microfaune du sol.

Les litières peuvent être en rapport avec l'activité de microorganismes au niveau de la rhizosphère ; ces derniers peuvent stimuler la synthèse de certains substances régulatrices de la croissance par la plante, telles que les cytokinines qui favorisent l'utilisation des glucides et leur transfert dans la plante (Strog et Phillips, 2001). En effet, ces régulateurs de croissance semblent produire chez les plants de pin, des améliorations dans la croissance. Ceci a été observé à travers différents travaux de Lê in Boukerker (1997) lesquelles avaient montré l'effet bien faisant de certaines combinaisons entre deux types de régulateurs (auxineset cytokinine) sur l'amélioration du développement des végétaux.

Par ailleurs, les études faites sur le comportement du pin d'Alep font ressortir l'influence particulièrement favorable des litières forestières sur la croissance en hauteur (Boukerker, 1997 ; Abdelaziz, 2003).

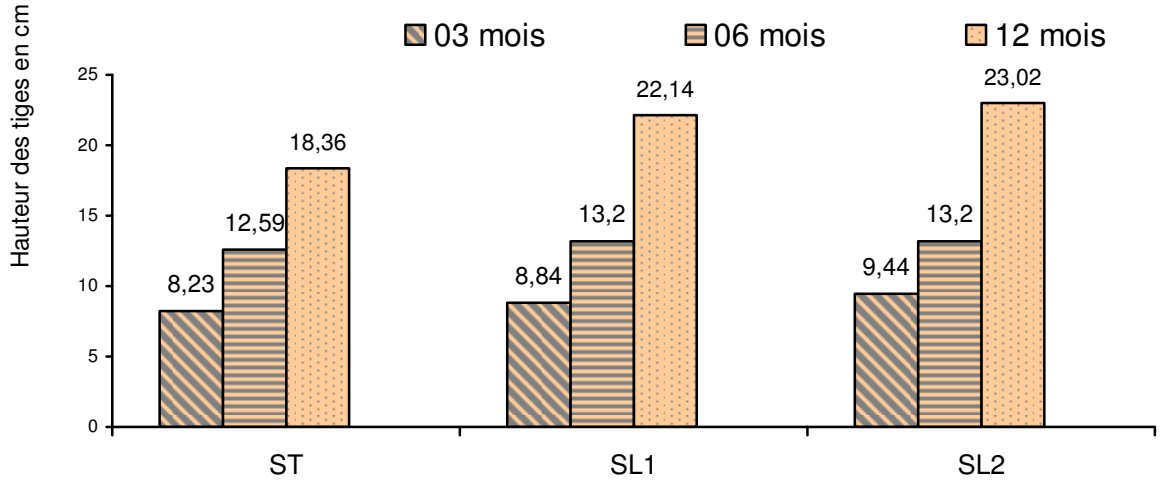


Figure 12 : dynamique de la croissance en hauteur (en cm) des jeunes plants de pin

A fin de préciser l'influence relative des stations, les analyses statistiques établies révèle des variations importantes de croissance en hauteurs (tableau 37).

Tableau 37 : Etude du paramètres morphométrique croissance en hauteur : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Facteur : station	2	19,34	12,98	3.27
Facteur : temps	2	590,86	396,79	3.27
Inter: F1 * F2	4	6,92	4,64	2,64
Résiduelle	36	1,49	/	/
Total	44	29,58	/	/

2.5.1.3- Effet sur la dynamique de la longueur des racinaire des plantules

L'observation de la figue n° 13 fait ressortir que le développement des racines ne révèle de différences qu'à partir sixième mois. C'est le caractère héréditaire des graines en particulier l'importance des réserves qui a fait que la différence au plan de la croissance radiale entre les plants de différentes stations ne s'est exprimée qu'après 12 mois. Ce sont les plantules de la station «pineraie » qui présentent une plus grande croissance racinaire comparativement à la pineraie mixte et la clairière. Ainsi nous avons enregistré dans l'ordre les longueurs racinaires de 44,56 cm pour les plants de la station monospécifique (pin) , 30,86 cm pour les plants de la station mixte (feuillu et résineux) et 23,82 cm pour les plants de la clairière (figure 13).

Cela peut être dû comme la signalé Mazliak (1982), à l'accumulation de l'acide abscissique qui va ralentir la croissance des tiges en réduisant la longueur des entres nœuds, et prolongeant la dormance des bougeons, mais peut favoriser en revanche la croissance des racines, ce qui explique l'inhibition partielle de la croissance des tiges enregistrée chez les plantules de pin d'Alep soumis a l'effet de la station de pineraie.

L'analyse statistique nous permet de noter une différence significative (tableau 38). Le test de NEWMAN et KEULS (tableau 39) détermine deux groupes homogènes.

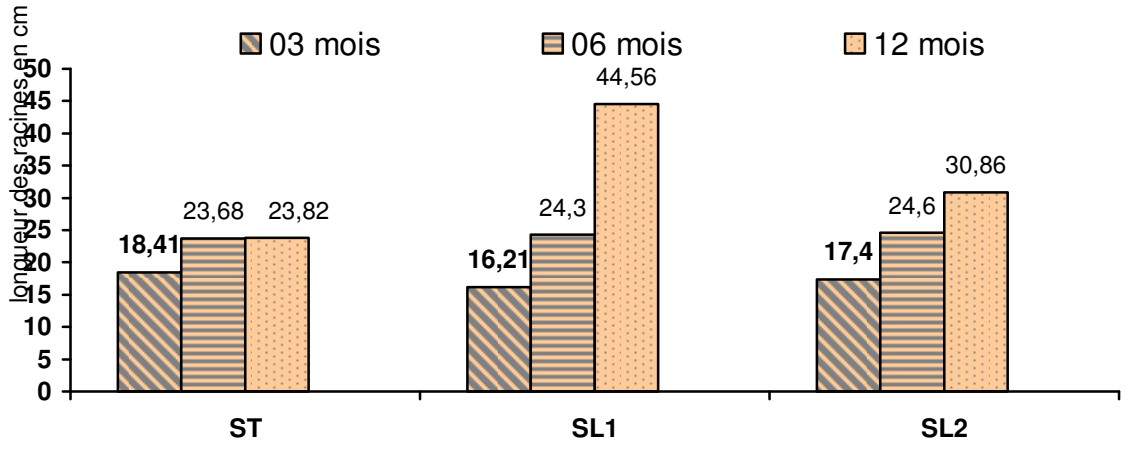


Figure 13: la longueur des racines (en cm) des jeunes plants dans le temps

Tableau 38 : Etude du paramètre « croissance radiale » : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Facteur : station	2	156,82	9,54	3.27
Facteur : temps	2	934,36	56,85	3.27
Inter: F1 * F2	4	203,27	12,37	2,64
Résiduelle	36	16,44	/	/
Total	44	81,53	/	/

Tableau 39 : Détermination des groupes homogènes de station par la longueur des racines.

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie (SL1)	A
Station : pineraie à chêne vert (SL2)	B
Station : clairière (ST)	B

2.5.2- Effet sur la l'évolution de la biomasse végétale

2.5.2.1 Effet sur l'évolution de la biomasse aérienne des plantes

En comparant les résultats obtenus au cours de cette période expérimentale fixée à 1 an (figure14), nous constatons un effet station qui apparaît dès l'age de 06 mois, et qui se traduit par une plus grande production de biomasse végétale (poids de matière sèche) en particulier sous pineraie à chêne vert et de la pineraie. Ainsi, cette biomasse végétale produite est respectivement de 0.156 g/plant et 0.162 g/plant comparativement à celle de la clairière qui est de 0.1134 g/plant. L'augmentation de la matière sèche produite se poursuit dans le

temps en faveur des plantules issues de la pineraie à chêne qui atteint après 12 mois 0.59g/plant et 0.56 g/plant pour la pinède pure. La clairière présente les résultats les plus faibles 0.37g/plant.

Il apparaît que la pineraie à chêne et la pineraie aient exercée un effet favorable sur la biomasse à travers la présence de la litière considéré comme fournisseur d'éléments minéraux nécessaires pour l'élaboration de composés organiques des végétaux tels que les acides aminés, les protéines, les acides nucléiques et pour le métabolisme des glucides et la synthèse enzymatique (Luttge et al, 1996).

Cette augmentation de la quantité de la matière sèche reflète d'une façon générale et plus particulièrement l'effet des litières mixte (feuillue et résineux) qui peuvent provoquer une activation de la microflore qui a son tour va synthétiser des substances de croissance (Walker et al, 2003). En effet, ces régulateurs de croissance semblent produire chez les plants de pin des améliorations dans les poids de matières sèches comme l'avait signalé auparavant Lê (in Boukerker, 1997).

Par ailleurs, l'analyse statistique concernant le facteur matière sèche aérienne nous a permis de noter une différence significative (tableau 40). Aussi le test de NEWMAN et KEULS permet de classer la pineraie à chêne et la pineraie dans le même groupe (tableau 41).

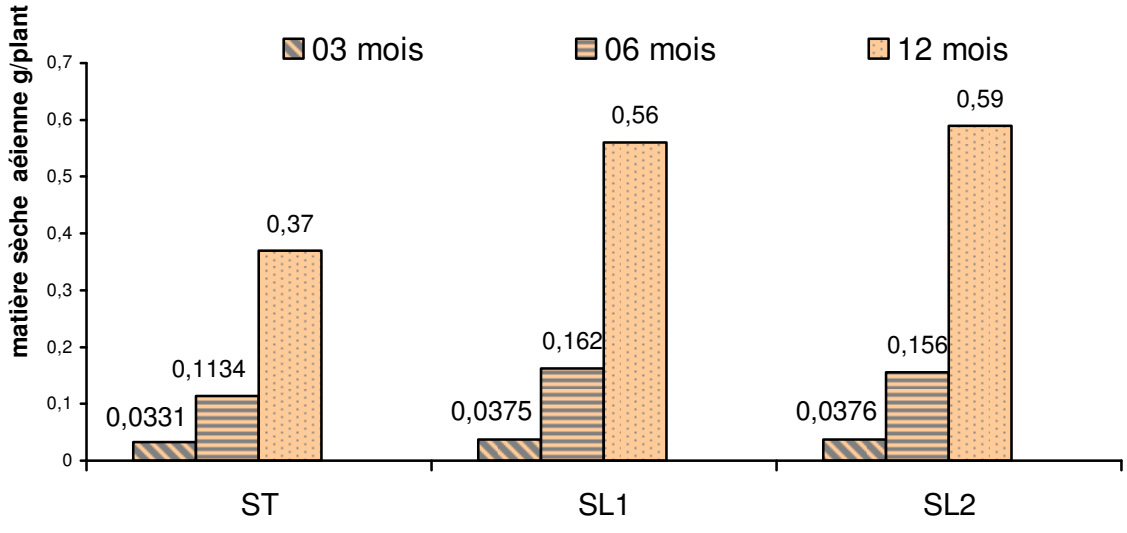


Figure 14 : Evolution de la quantité de matière sèche aérienne (g/plant) en fonction du temps

Tableau 40 : Etude du paramètre « biomasse aérienne » : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Facteur : station	2	0,04	7,82	3.27
Facteur : temps	2	0,91	203,66	3.27
Inter: F1 * F2	4	0,02	4,03	2,64
Résiduelle	36	0	/	/
Total	44	0,05	/	/

Tableau 41 : Détermination des groupes homogènes de station par la biomasse aérienne.

Stations	Groupes homogènes
Station : pineraie à chêne vert (SL2)	A
Station : pineraie (SL1)	A
Station : clairière (ST)	B

2.5.2.2- Effet sur l'évolution de la biomasse racinaire

D'après la figure n° 15, nous notons une très faible différence au plan de la quantité de matière sèche racinaire produite par les plantules dans les différentes stations de pin. Cette faible différence s'établit au profit de la pineraie à chêne. Les biomasses enregistrées sont les suivantes :

- Pineraie à chêne 0,11 g/plant,
- Pineraie 0,094 g/plant,
- Clairière 0,072 g/plant.

L'importance du type de matière organique présente dans le sol de la station mixte influence le développement des racines et leurs exploration du sol à la recherche des éléments nutritifs.

L'ensemble des interrelations qui se manifestent entre les végétaux supérieurs et les microorganismes telluriques au niveau des racines sont connus d'interactions rhizosphériques. A ce niveau, les microorganismes provoquent la synthèse et le transfert de composés hydrosolubles.

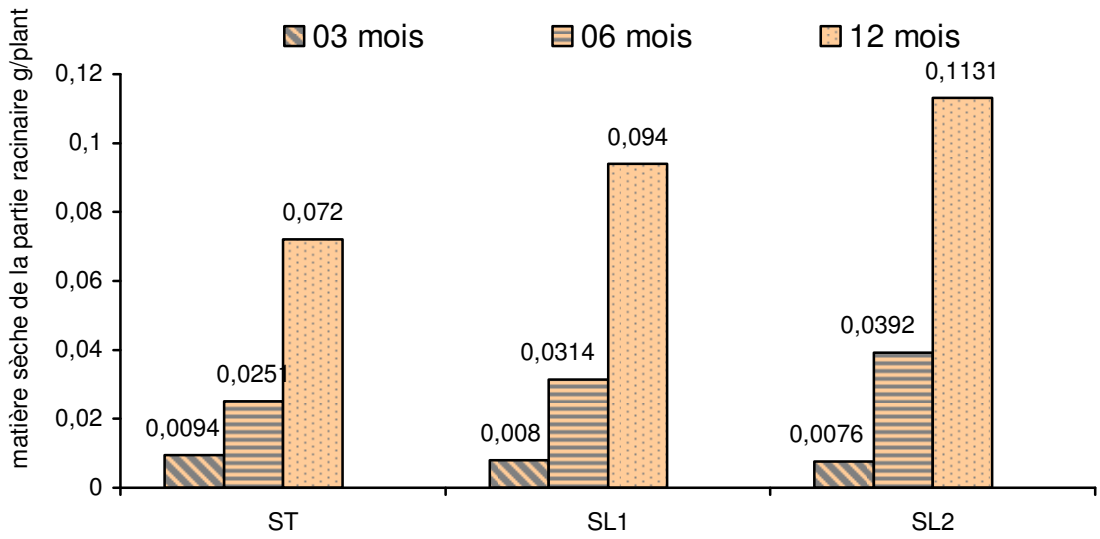


Figure 15 : Evolution de la quantité de matière sèche racinaire (g/plant) produite en fonction du temps

2.5.3- Effet sur la dynamique de la minéralomasse végétale

2.5.3.1- Effet sur la dynamique de l'azote

D'après la figure n° 16 représentant les analyses chimiques des plantes, nous observons une faible différence au plan de la teneur en azote. Cette différence s'établit au profit de la station mixte qui enregistre une valeur de 2,86 % les trois premier mois, de 2,42 % le sixième mois et de 2,68 % après 12 mois. Pour les plantules soumis à l'effet de la station monospécifique, le taux d'N noté le premier trimestre est de 2,33 % puis diminue à 2,15 % le sixième mois et après une légère augmentation s'observe à 12 mois. Et enfin la teneur d'N des plants de la clairière diminue au cous du temps et enregistre une valeur qui va de 2,68 % à 2,15 % le premier semestre et continue de diminuer jusqu'à atteindre 1,97 % le 12 mois. Ainsi c'est la station mixte qui induit une plus grande rétention d'azote des plantules de pin.

Cela peut s'expliquer d'une part par la nature des composés organiques constituants les deux types de stations et d'autre part à la nature des microorganismes associés à la matière organique ; cet effet a été déjà observé par Morel (1996) et il semble que la faible teneur en N des plantules de pin observée sous l'influence de la station monospécifique comparativement à celle de la station mixte serait due à une inhibition des organismes nitrificateurs par des toxines apportées par les aiguilles de pin et une influence directe sur les micro-oganismes telluriques. Ainsi, chaque type de végétation joue un rôle différent sur l'activité microbienne

du sol et apporte des quantités d'azotes différentes. Il en ressort, que la minéralisation de l'azote est plus importante en présence de litières de chêne et cela peut être due comme l'avaient signalé Mangenot et Toutain (1980), au fait que la litière des feuillus se décompose rapidement et libère plus d'éléments chimique nécessaires à la nutrition des peuplements forestiers.

L'analyse de la variance (tableau 42) ne montre aucune différence significative.

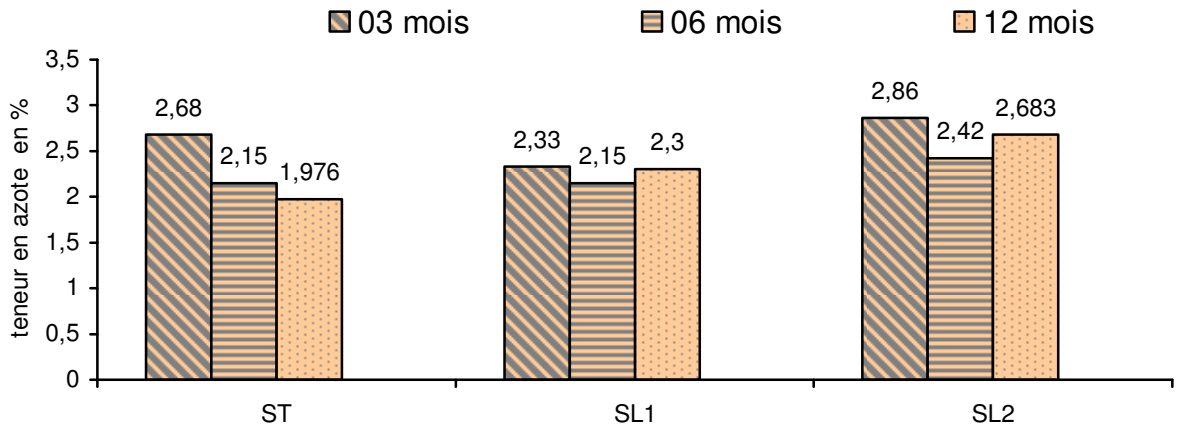


Figure 16: Evolution de la teneur en azote par les plants (en %) pour les différents traitement en fonction du temps

Tableau 42: Etude du paramètre « Azote » : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	C.M	F test	F théo
Facteur : station	2	0	2,87	3.27
Facteur : temps	2	0	2 ,80	3.27
Inter: F1 * F2	4	0	1,16	2,64
Résiduelle	18	0	/	/
Total	26	0	/	/

2.5.3.2- Effet sur la dynamique du phosphore

En comparant les résultats (figure 17), nous notons au cours des six premier mois, des teneurs en phosphore assez proche dans les deux types de stations forestières et la clairière. C'est en fin de l'expérimentation qu'apparaît une augmentation de la teneur en phosphore pour les plantules de la station mixte (pineraie à chêne) comparativement à la station monospécifique de pin et de la clairière. Les teneurs observées sont comme suit : 0,226 %, 0,205 % et 0.202 %.

Au vu de ses résultats, il ressort que les processus de solubilisation du phosphore et la minéralisation des litières est plus importante en présence d'une végétation mixte de pin d'Alep et chêne vert. La bonne assimilation du phosphore peut être due à la présence dans l'ambiance des stations mixtes de certains microorganismes capables de solubiliser les phosphates et que l'activation de ces microorganismes est due à la présence dans les hydrosolubles de sol de certains acides organiques d'origine végétale ou microbienne (Strong et Phillips, 2001).

Aussi, Nys et al (1983), ont souligné que les immobilisations sont généralement plus élevées chez les feuillus que chez les résineux.

L'analyse de la variance (tableau 43) ne montre aucune différence significative.

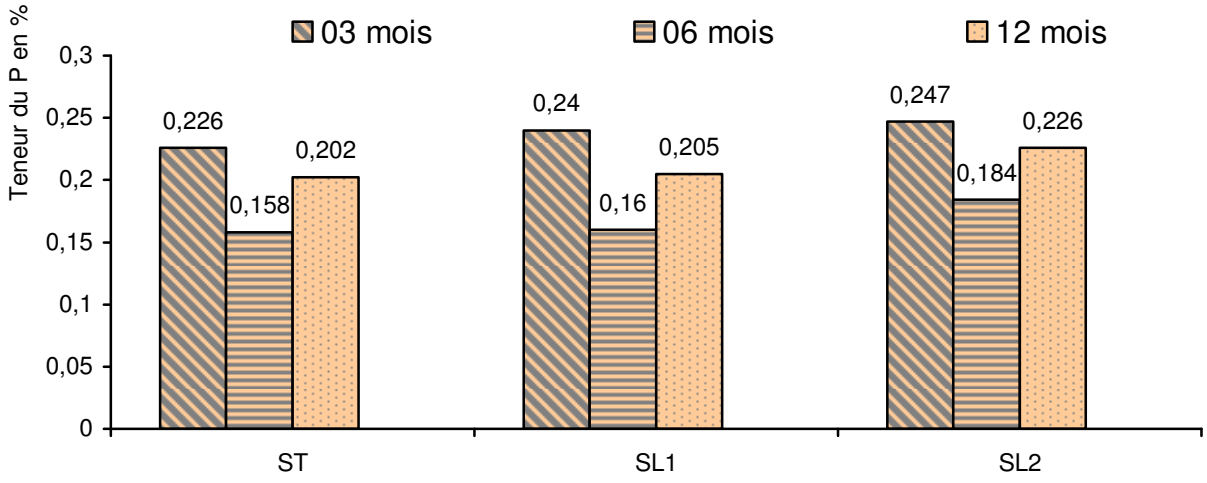


Figure 17: Evolution de la teneur en phosphore (en %) pour les différents traitement en fonction du temps

Tableau 43 : Etude du paramètre « Phosphore » : Analyse de la variance

Source de variation	DDL	Biomasse aérienne		F théo
		C.M	F test	
Facteur : station	2	0,04	1,01	3.27
Facteur : temps	2	0,05	1,11	3.27
Inter: F1 * F2	4	0,04	0,94	2,64
Résiduelle	18	0,04	/	/
Total	26	0,04	/	/

Conclusion

La dynamique des éléments N, P présente une évolution progressive dans le temps en présence des matières organiques d'origine végétale qui semblent favoriser une meilleure solubilisation d'éléments chimiques. Aussi, il résulte que c'est dans le sol développé sous végétation mixte que l'activité microbienne est relativement très importante laquelle induit une libération supplémentaire d'éléments minéraux. Ceci pourrait s'expliquer par la vitesse de décomposition qui est plus importante dans les pineraies mixtes comportant notamment le chêne vert et le pin d'Alep que dans la pineraie pure. Les variations de l'activité biologique du sol, sont sous la dépendance des effets combinés de nombreux facteurs de l'environnement (Dommergues et Mangenot, 1970) ; dont les plus importants sont : l'humidité, la température et les substrats énergétique apportés par les végétaux.

Concernant la dynamique des caractères biométriques des plantules, il ressort que le développement des différents plants durant les six mois qui ont suivi le semis des graines ne présentes pas de particularités, il n' y a aucune différence entre les deux stations forestières et la clairière. Ce n'est qu'après une période de 12 mois de semis qu'apparaît la différence dans l'évolution et le développement des plants au profit de ceux qui se sont développés dans la station forestière mixte. Cette différence non significative dans la croissance les six premiers mois peut s'expliquer par les caractères héréditaires des graines particulièrement l'importance des réserves et cela à été signalé par Gay (in Abdelaziz (2003), dans son étude menée sur le pin d'Alep, où il à constaté que les réserves contenues dans les graines peuvent assurer une croissance et un développement satisfaisant des jeunes plants jusqu'à l'âge de 07 mois et peut être plus.

Conclusion générale

Cette étude a fait ressortir que les sols développés sous différentes stations forestières de pin sont dotés d'un pouvoir de mobilisation des éléments chimiques N, P relativement élevé et plus particulièrement ceux qui subissent l'effet d'une végétation mixte «feuillue et résineux ». La stimulation du processus de mobilisation de N, P dans les sols de la pineraie à chêne est due vraisemblablement à la richesse relative des feuilles du chêne vert en azote, en polysaccharides et autres substrats énergétiques stimulateurs de la biodégradation de la matière organique des sols, mais aussi à la quantité de ses matières organiques présentes qui sont plus importantes dans la pineraie-chênaie (6,7 %). Aussi, le facteur C/N en apport avec le rythme de minéralisation et l'activité microbienne est de 18,52 sous la pineraie-chênaie et 22,6 sous la pineraie expliquant cette forte mobilisation de N et P dans les sols de la station mixte.

De ce fait, le type de végétation influence la dégradation de la matière organique dans les sols et agit indirectement sur la plante en mettant à sa disposition des éléments nutritifs utilisables par les racines. Cette étude fait ressortir nettement un effet favorable «station mixte » dans l'amélioration des propriétés du sol et dans l'enrichissement du milieu édaphique en éléments chimiques nécessaires à la nutrition des peuplements. Ainsi l'analyse des résultats relatifs aux caractères morphométriques et biométriques du pin d'Alep après 12 mois de culture en pots montre, que les plantules développées dans la pineraie chênaie se caractérisent par un meilleur développement de l'appareil foliaire, une plus grande croissance verticale et radiale (hauteur totale, diamètre au collet), et une plus forte production de matière sèche. Ainsi, les hauteurs moyennes et la production de biomasse végétale par les plants de la pineraie-chênaie sont respectivement de 67,7 cm et 0,7 g/plant de matière sèche, alors que ceux de la pineraie présentent une hauteur de 52,93 cm, et une biomasse de 0,65 g/plant, la plus faible hauteur moyenne obtenue et de 42,18 cm et une biomasse de 0,44 g/plant pour les plants de la clairière.

Les résultats obtenus en matière de hauteur des plantules dans la station mixte sont comparables à ceux de Kadik (1987), obtenus dans son étude sur le comportement de différentes provenances subsahariennes de pin (hauteur variant entre 62 et 63 cm), après 12 mois. On pourrait admettre comme l'ont déjà signalé Welke et Feyles (2005), que l'approvisionnement du sol en éléments nutritifs et leur assimilation par les végétaux (croissance de la nutrition des arbres) est conditionné par la quantité et la qualité de la matière organique.

Pour ce qui est de la dynamique des caractères des plantules, il ressort que durant une phase de six mois tous les plants développés dans les différentes stations ne présentent pas de différences importantes dans le comportement végétal. Ce n'est qu'au bout d'une année de semis qu'apparaît une différence dans l'évolution et le développement des plants de pin et ce sont les plants de la pineraie – chênaie qui présentent les meilleures caractéristiques.

Ainsi, l'effet «station de pin » se traduit par un gain consistant au niveau de la croissance des plantules de pin et de la production de biomasse dans la station mixte.

En conséquence, il semble important de favoriser le développement des forêts mixtes de pin d'Alep à chêne vert comparativement aux forêts monospécifiques de résineux a base de pin d'Alep, car cela peut représenter une pratique d'aménagement forestier d'avenir ; qui peut être obtenu par l'installation de taillis de chêne vert sous futaie de pin d'Alep comme le confirme la présente étude, où il est démontré que la forêt mixte (feuillue et résineux) possède une plus grande capacité de mobilisation des éléments nutritifs dans les sols, et cela en relation avec les litières dont la décomposition est facile et qui libèrent une quantité d'éléments nutritifs plus grandes que les forêts monospécifiques. De tels aspects suggèrent que la transformation des forêts pure en forêt mixte est une mesure écologique et forestière nécessaire pour l'amélioration de la qualité des sols forestiers et de la productivité primaire des écosystèmes forestiers. Ceci a été déjà souligné par Ranger et al (1994), pour lesquels toute décision d'aménagement doit être raisonnée en fonction des contraintes environnementales concernant la ressource non renouvelable qu'est le sol. Aussi, la production en matière organique d'après Kadik (1987), est plus importante dans la pineraie à plusieurs strates comportant notamment le chêne vert, le chêne kermès, l'arbousier et le lentisque. Alors que dans les pineraies à romarin, la productivité en matière organique est faible.

Finalement, compte tenu de l'importance de la matière organique pour l'approvisionnement en éléments nutritifs des sols et leur assimilation par les végétaux, les techniques sylvicoles auront un effet considérable sur la croissance et la nutrition des arbres ; On pourrait dire que les sites forestiers monospécifiques, le cas de la pineraie pure, sont sensibles aux pertes d'éléments nutritifs après une coupe d'exploitation. En revanche, dans la pineraie - chênaie à dominance de pin d'Alep et plus précisément un taillis sous futaie, la qualité de la litière mixte en plus du traitement sylvicole propre à ce régime, pourrait avoir des effets bénéfiques sur la régénération des plantules de pin. Ce type de régime forestier ne laisse jamais le sol a découvert, ce qui ralentit les différentes actions de dégradation et d'appauvrissement du sol. Aussi les démarches scientifiques actuelles favorisent l'installation

dans les massifs forestiers le taillis que la futaie compte tenu de l'accroissement du réchauffement climatique à l'échelle planétaire.

Références bibliographiques

Abdelaziz S., 2003 – Etude expérimentale de l'influence des facteurs bio-édaphiques (sol, pluvioléssivats et liière) su le comportement de plantules de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.*) et le frêne (*Fraxinus escelsior L.*) dans une oliveraie en vue d'une reconduction d'un verger oléicole en site forestier. Mémoire .Ing. Fort. Agro. Batna 92 p.

Abdessamed K., 1981 – Le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica M*) dans le massif de l'Aurès et du Belezma. Etude phytosociologique. Problèmes de conservation et d'Aménagement. Thèse, Doc. Ing. Fac. Des sciences et techniques, St.Jérome Aix Marsseille, 200p.

Abourouh H., 1983 – Essai de mycorhization de *cedrus atlantica Manetti*. En pépinière. Thèse Doc. 3ème cycle. Univ.Claud Bernard,.Lyon. pp : 193-234

Aissi M., 1989 – Recherche sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers à cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica. M.)*

- contribution à l'étude des litières forestières
- contribution à l'étude de la biomasse et la minéralomasse souterraine dans deux stations (Belezma, S'gag).
  Mémoire .Ing. Fort. Agro. Batna 88p.

Akrimi N., 1986 - Production ligneuse des peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis)* de la forêt de Sakiet Sidi-Youcef (Tunisie). Ecol. Médit., 12(1), 237-253.

Alloui F., 1991 – Etude expérimentale de l'influence des hydrosolubles de litières et d'humus sur le processus de minéralisation de carbone et d'azote dans un sol forestier de Belezma : incidence sur la microflore tellurique. Mémoire .Ing. Fort. Agro. Batna p

Amar gadi A., 2000 - Contribution à l'étude expérimentale de l'influence des litières et feuillages sur la mobilisation de certains éléments chimiques P, K, Ca, Mg de deux roches mères (grès, dolomie calcaire) dans la station de chélia Wilaya Khenchela. Mémoire ingénieur. Université colonel el hadj lakhdar Batna. Institut d'Agronomie.

Andreux F., Ranger J., 2001 – Programme de recherche « Biodiversité et gestion forestière ». Effet des substitutions d'essences sur le fonctionnement organo-minéral de l'écosystème forestier, sur les communautés microbiennes et sur la diversité des communautés fongiques mycorhiziennes et saprophytes (cas du dspositif expérimental de Breuil-Morvan). INRA Centre de Nancy – UR 1138 Biogéochimie des Ecosystèmes Forestiers. Champenoux. pp 1-10.

Baise D., Djabiol B., 1995 - Guide pour la description des sols. Edit. INRA, Paris. France. p 119-206.

Barber SA., 1984 - Essai de définition de la fertilité du sol. Bull. de l'AFES, 67 : 210-217.
Les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse-Moulaya (Maroc oriental). Thèse Doct. Sc., strasbourg.

Benmessaouda M 1999 – Contribution à l'étude de l'influence des litières forestières (nature et age) sur la mobilisation de certains éléments chimiques (P, K, Ca, Mg) d'un grès ferrifère des Monts du Chelia. W Khenchela. Mémoire. Ing. Institut d'agronomie. Batna. 96 p.

Bensid Z., 1996 – Etude expérimentale de la dynamique des litières dans deux stations forestières des hautes altitudes aurassiennes (Monts de CHELIA) : -turnover des retombées biologiques (minéralisation, réorganisation et humification) ; - incidences de la nature du couvert forestier sur les microflores telluriques. Mémoire magister AGRO BATNA. 180 p.

Bentouati A., 2006 – Croissance, productivité et aménagement des forêts de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.)* du massif de Ouled Yagoub (Kenchela-Aurès). Mémoire Doctorat. AGRO BATNA. 116 p.

Benzaroual B., 2006 – Tourisme responsable. Envionnement et développement. Etude de cas des Aurès. Mémoire magister Batna

Berthelin J, Toutain F., 1979 – constituants et propriétés des sols. Biologie des sols in pédologie T II.

Boukerker H., 1997 – L'influence de certains facteurs bio-édaphique sur le comportement des jeunes plantules de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*). Mémoire. Ing. Institut d'agronomie. Batna. 48p.

Bouneau M., Souchier B., 1979 – Pédologie – constituants et propriétés du sol. Edit Masson. Paris. Pp 388-392.

Brochiero F., Chandioux O., Ripert C., Vennetier M., 1999 - Autécologie et croissance du pin d'Alep en Provence calcaire. Forêt méditerranéenne, XX(2), 215-224.

Brookes P.C., Powlson D.S., Jekinson D.S., 1984 – Phosphorus in soil microbial biomass. Soil Boil. Biochem.14 : 319-329

Chaba B., 1983 – Etude des développements des jeunes plants de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill.)*, conséquences pratiques et reboisements en zone semi-arides et arides. Mémoire Magister. INA. Alger. 91 p.

Chakroum M.L 1986 – Le pin d'Alep en Tunisie. Ingénieur en chef. Directeur des reboisements. Direction des forêts Tunis. CHIHEAM. Options Méditerranéennes.

Chaussod R., 1996 – la qualité biologique des sols : évaluation et implications. Etude et gestion des sols. Vol. 3, n° 4, pp. 261- 278.

Couhert B., et Duplat P., (1993) - le pin d'Alep. Rencontres forestièrs-chercheurs en forêt méditerranéenne. La Grande-Motte (34), 6-7 octobre 1993. Ed. INRA, Paris 1993 (les colloques n°63), 125-147.

Diehl R., 1975 - Agriculture générale. Ed. J.B. Baillère, Paris, 369 p.

Djili, K., 1983 - Cartographie des sols en milieu steppique calcaire. Thèse magister, INA El-harrach ALGER. 100 p.

Djili K., 2000 - Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse doctorat INA El-harrach ALGER.p.243.

Djili K., Daoud Y et Ayache N., 1999 - Analyse de la distribution verticale et spatiale du calcaire dans les sols de l'Algérie septentrionale. INA. Département des sciences des sols El harrach Alger. Etude de gestion des sols, 6, 3 pp : 201- 213.

Dommergues Y., Mangenot F., 1970 - Ecologie microbienne. Ed. Masson et Cie, p :155-452.

Dommergues Y., 1971 – Interactions sans caractères symbiotique entre la végétation et la microflore du sol. Effet litière in Pesson P., la vie dans les sols, Edit. Gauthiers-Villars Paris, pp 423-471.

Duchaufour PH., 1983 – Pédologie : 1- pédogénèse et classification. Edition Masson et Cie, 491 p.

Duchaufour PH., 1988 - Abrégé de pédologie. 2ème édition Masson et Cie, 224 p.

Duchaufour PH., Toutain., 1985 – Apport de la pédologie à l'étude des écosystèmes. Bull. Ecol. 17 pp 1-9.

Duchaufour PH., 1997 – Abrégé de pédologie, sol, végétation, environnement, 5e éd., Masson ? Paris, 335 p.

Duthil J., 1973 - Eléments d'écologie et d'agronomie. T III. Ed. J.B.Baillère, Paris, 263-656.

Eliard JL., 1979 – Manuel d'agriculture générale. Ed. JB. Baillère, Paris? 263-656.

Fardeau JC., Frossard E., 1992 - Processus de transformation du phosphore dans les sols de l'Afrique de l'Ouest semi-aride : application au phosphore assimilable. Dans : phosphorus Cycles InTerrestrial and Aquatic Ecosysthèms of Semi-Arid Africa, pages : 108-128.

Fardeau JC., 1993 - Le phosphore assimilable des sols : sa représentation par un modèle fonctionnel à plusieurs compartiments. Agronomie. Elsevier/INRA.N° 13 : 313-331.

Fontaine S., 2006 - Le stockage de carbone dans les sols dépond de l'intéraction entre deux types de microbes. Porte ouverte 2006 de l'INRA de Clermont ferrand. INRA agronomie

Freeman JS., Rowell DL., 1981 - The adsorption and precipitation of phosphate onto calcite. Journal of Soil Science, 32: 75-84.

Frossard E., Brossad, M., Hedley, M.J et Metherell, A., 1995 – Reactions controlling the cycling of P in soils.Dans: phosphorus in global environment, ed. T. H., t. 2. John wiley & sons Ltd., paris. V54 pp : 108-137.

Gaudilère J.P, 1997 – Assimilation de l'azote chez les plantes. Gestion de l'azote chez les espèces ligneuses. INRA, Paris pp : 295- 305.

Genermont S., 1996 - Modélisation de la volatilisation d'ammoniac après épandage de lisiers sur parcelle agricole. Thèse de doctorat, Toulouse, 170p .

Ghoul F., 1993 – Etude expérimentale de l'influence de l'age des litières forestières sur la mobilisation de quelques éléments minéraux : Fe, Na, Ca et Mg. Mémoir. Ing. Institut d'agronomie. Batna 42p

Guesmia, A., 2000 - Contribution à l'étude de l'effet allélopathique des extraits aqueux de feuillage et de litière (de pin d'Alep et de chêne vert) sur la germination des graines de pin d'Alep. Mémoire ingénieur. Université colonel el hadj lakhdar Batna. Institut d'Agronomie.

Gros A., 1979 – Guide pratique des relations entre l'alimentation phosphatée des cultures et les valeurs E et L. INRA : 205-215.

Halitim, A., 1983 - Etude expérimentale de l'épigénie des silicates en milieu confiné – Caractérisation des conditions de son développement et des modalités de sa mise en jeu. Sci.Géolo.,Méni., 71 : 63-73.

Halitim, A ., 1988 - Sols des régions arides d'Algérie. OPU. Alger.384p.

Harrison A.F., 1987 - Soil organic phosphorus: a review of world litterature. CAB International, Wallingford. 257 p.

Hassad S., 2005 – Contribution à l'étude des groupements végétaux du pin d'Alep dans la forêt d'Ouled Yagoub. (Ain Mimoune – Kenchela). Mémoire ingénieur. Université colonel el hadj lakhdar Batna. Institut d'Agronomie, 84 p.

Hébert J., 1979 - L'azote. Ed. Masson, Paris, p : 386-394.

Heller R., Esnault R., Lance C., 1998 – Physiologie végétale. 1-Nutrition. Edit, DUNOD. Paris, ISBN. , 323 p.

Hue. N.H., 1991 – Effect of organic acid/anions on phosphorus sorption and phytoavailability in soils with different minaralogies. Soil. Sci, 152 n°6, p : 463 - 471.

Kadik B., 1987 - Contribution à l'étude du pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill. *)* en Algérie : Ecologie, dendrométrie, morphologie. O.P.U., 581 p.

Khanfouci M.S., 2005 – Contribution à l'étude de la fructification et de la régénération du cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica M*) dans le massif du Belezma. Thèse magister AGRO BATNA. 224 p.

Kerchouche D., 2003 : Typologie écologique et phytosociologique des stations et croissance des peuplements de pin l'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) dans le massif des Beni-Imloul (Aurès, Algérie). Mémoire magister . Fort. Agro. Batna 79 p.

Larrieu L., 2006 – Observe les sols forestiers. Les effets de la présence de calcaire dans la tee fine. L'ECHO des forêts N° 46. CRPF de Midi-Pyrénés.

Luttge U., Kluge et Bauer G., 1996 – Botanique. Edit : lavoisier. TEC et DOC. Pp : 441-556.

Mangenot 1980 – Les litières forestières ; signification écologique et pédologique, Rev.Forest Franç., Vol.32 n°4 ,PP 339-355.

Mangenot F., Toutain F., 1980 – Les litières forestières et leur évolution. In PESSON. Actualités d'écologie forestière « Sol-Flore-Faune ». Edit Bordas, Paris. pp 3-60.

Mazliak P., 1982 – Croissance et développement – physiologie végétale II. Edit. HERMANN., p : 15 - 307.

Michel C.A et Thiens S.J., 2003 – Phosphorus bioavailability following incorporation of grain manure crops. Soil.sci.soc.Am.j. V67 : 1186-1194.

Morel JL., 1968 - Evolution de l'azote et du carbone organiques du sol au cours d'une expérience de longue durée, Ann. Agron. n ° (19) 2, pp. 153-174.

Morel R., 1996 - Les sols cultivés. Lavoisier, deuxième édition. 378 p.

Nahal, I., 1962 – Le pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*.). Etude taxonomique, phytogéographique, écologique et sylvicole. Ann. Ecole eaux et forêts. Sta.Rech.Exp.19(4). 208p.

Nahal, I., 1986 - Taxonomie et aire géographique des pins du groupe halepensis. Faculté d'agronomie. Université d'Alep Syrie. CIHEAM 86/1.

Nys C., Ranger D., Ranger J., 1983 – Etude comparative de deux écosystèmes forestiers feuillus et résineux des Ardenne pimaire Français. Ann.Phy.Végé.III.Min . PP 35-47.

Ould rabah, F., 1991- Influence de la nature des litières forestières (cèdre, chêne) sur la mobilisation de quelques éléments minéraux: Fe, P, K, Na, Ca et Mg d'une roche mère (grès barrémien) des monts du Belezma. Mémoire .Ing. Fort. Agro. Batna 67 p.

Parde J., 1957 - La productivité des forêts de pin d'Alep en France. Ann. E.N.E.F et Sta. Rech. Exp., 15 (2), 367-414.

Pouget J., 1980 – Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-Algéroises, thèse doctorat., 138 p.

Poupon H., 1971 - Etude de la croissance en hauteur et en circonférence de quelques espèces de pins et d'eucalyptus dans l'arboretum de Zerniza (1).Thèse de troisième cycle. Faculté des sciences d'Orsay France. ORESTOM.

Prevosto B ; Ripet et Favand G 2007 - Régénération et diversification des peuplement à pin d'Alep en région méditerranéenne : impact des travaux sylvicoles. Cemagref UR écosystèmes méditerranéens et risques 3275 route Gézanne BP 31 le tholonet 13612 Aix-povence.

Quezel P., 1986 – Les pins du groupe « halepensis » : Ecologie, Végétation, Ecophysiologie. Options Méditerranéennes. Série Etude CIHEAM 86/1, 11-25.

Quezel P., Barbero M., 1992 - Le pin d'Alep est les essences voisines : répartition est caractère écologiques généraux, sa dynamique récente en France méditerranéenne. Forêt méditerranéenne, XIII (3), 158-170.

Rapp M., 1967 – Production de litière et apport au sol d'éléments minéraux et d'azote dans un bois de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) Oecol.Plant.n°24,pp 325-378

Ranger J., Colin-belgrand M., Nys C., 1994 – Le cycle biogéochimique des éléments majeurs dans les écosystèmes forestiers. Importance dans le fonctionnement des sols. INRA centre de Nancy. Equipe « cycles biogéochimiques ». 54280 Champenoux. Pp 119-132

Razi S., 2006 – Etude expérimentale de l'influence du gypse sur la dynamique du phosphore dans le sol et sa cinétique d'absorption par le ray-grass. Thèse magister AGRO BATNA. 150 .

Recous S., Jeuffroy MH., Mary B., Meynard JM., 1996 - Gestion de l'azote en zone d'agriculture intensive. Rapport final, INRA-Grande paroisse S.A., 37p.

Renault., 1958 - Chimie agricole : Tome2. La biosphère. Ed. Ergolle, Paris, 257p.

Ripert C., Vennetier, M., 2001- Croissance et écologie du pin d'Alep en France. Institut de recherche pour l'ingénierie de l'agriculture et l'environnement, Antony, France : CEMAGREF-01-0459.

Robert M., 1996 - Le sol. Interface dans l'environnement ressource pour l'environnement. Tome 1. Masson, France. 244 p.

Ruellan A., 1970 – Les sols à profil calcaire différencié des plaines de Basse Moulouya (Maroc oriental). Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéennes. ORESTOM n° 54, 302 p.

Ruellan A., 1976 - Caractéristiques morphologiques des sols calcaires. Ann.Agro .INA, El-Harrach.Vol.IV, n°1, pp : 31-54.

Sanyal SK., Dedatta SK., 1991 - Chemistry of phosphorus transformations in soils. Dans : Advances in soil science, édité par B. A. Stewart, tome 16, page 1-120. Springer-Verlag, New York, U.S.A.

Saubusse T., 2005 - Evaluation de l'azote minéral disponible par la méthode I.E.R (Ion Exchange Resin) dans les pairies subalpines de la haute vallée de la romanche suivant différents types d'usages des terres. Master 1 Biodiversité Ecologie Environnement. Université Joseph fourier. Science technologie Medecine. LECA

Schoenbeger A., 1970 – Inventaire des massifs de S'gag et Chélia. FAO- pojet Algéie 15 : 14 p.

Serre-bachet F., 1976 - Les rapports de la croissance et du climat chez le pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill). II. L'allongement des pousses et des aiguilles et le climat. Discussion générale. Oecol. Plant ., 11 (3), 201-224

Soltner D., 2000 - Les bases de la production végétale. Tome I. le sol et son amélioration. 22^{e} Edition. Sciences et technique agricoles. 472 p.

Souleres G., 1969 - le pin d'Alep en tunisie. Ann. Ins. Hist. Nat. afr. Nord, Alger, 59 (4), 23-36.

Stengel P., Gelin S., 1998 - Sol : Interface fragile. INRA, Paris, p: 70-77.

Strog D.R., Phillips D.A, 2001- Notes from the underground communication and control in the Rhizosphere. Plant Physiology. Edit. American society of plant biologists. Vol 127. pp : 727-730

Temagoult O., 2005 – Recherche d'un substrat de culture pour la production de plants en pépinière. Thèse magister AGRO BATNA. P 118.

Tissaux, J., 1996 - Une revue bibliographique des principaux mécanismes pédogénétiques pour caractériser le rôle du bois raméal fragmenté (BRF) dans le processus d'humification.

Publication N° 60. Département des sciences du Bois et de la Forêt. Université Laval Québec G1k 7 P4.

Toutain F., 1981 – Les humus forestiers. Structure et mode de fonctionnement. R.F.Forest. G., pp 444-463.

Toutain F., 1987 – Les litières : Siège de systèmes interactifs et nature de ces interaction. Rev. Bio. Sol . vol (3)24 . pp : 231-242.

Trembaly S., Ouimet R., 2002 – Relation entre la quantité de carbone organique dans les sols et la composition du couvert des peuplements du Québec méridional. Note de recherche forestière N° 112. ISBN. 2-550-388429- p :14.

Trumbore S.E., 1997 – Potential reponses of soil organic carbon to global environmental change. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol. 94, Colloquium. Paper edit : PNAS. PP/ 8284-8291.

Voests J.P., Agrianto G., Vertraete W., 1975 – Etude écologique des activités microbiologiques et enzymatiques des sols dans une forêt de feuillues, Rev.Ecol.Biol.Sol. 12(3), pp.543-555.

Vyking., 2006 – la nutrition minérale – guides culture cannabis. www.cannaweed copyright 2002-2010.com/

Welke S., Fyles J., 2005 – De l'importance de la matière organique. Réseau de gestion durable de forêts. Série de note de recherche n°3. université de l'Alberta, Edmonton. ISSN 1715-099X.

Welker T.S., Bais H.P., Groteweold E., Vivanco JM., 2003 – Root exudation and Rizosphere biology. Plant physiology. Vol. 132

Zemoura A., 2006 - Etude comparative de quelques méthodes de dosage du phosphore assimilable des sols calcaires en région semi-aride (W de Batna).Thèse magister AGRO BATNA. P.122.

ANNEXE

ANNEXE

Tableau 01: Teneur en azote minéral des sols dans les systèmes expérimentaux sols-litières .

Traitements	Répétition	0 jours	03 mois	06 mois	12 mois
ST	N min (en ppm)	210	105	70	52.5
		210	105	70	52.5
		192.5	87.5	52.5	52.5
	Moyenne	**204.16**	**99.16**	**64.16**	**52.5**
SL1	N min (en ppm)	175	122.5	105	105
		122.5	122.5	105	105
		122.5	122.5	70	70
	Moyenne	**140**	**122.5**	**93.33**	**93.33**
SL2	N min (en ppm)	140	140	122.5	175
		140	122.5	122.5	122.5
		140	122.5	175	122.5
	Moyenne	**140**	**128.33**	**140**	**140**

Tableau 02 : Teneur en azote minéral des sols dans les systèmes expérimentaux sols-litières-plantules.

	Répétition	0 jour	03 mois	06 mois	12 mois
ST	N min (en ppm)	210	70	35	35
		210	70	52.5	35
		192.5	70	52.5	35
	Moyenne	**204.16**	**70**	**46.66**	**35**
SL1	N min (en ppm)	175	52.5	70	87.5
		122.5	52.5	52.5	87.5
		122.5	52.5	52.5	87.5
	Moyenne	**140**	**52.5**	**58.33**	**87.5**
SL2	N min (en ppm)	140	70	105	105
		140	70	105	105
		140	70	70	105
	Moyenne	**140**	**70**	**93.33**	**105**

Tableau 03 : Teneur en phosphore assimilable dans les systèmes expérimentaux sols-litières.

Traitements	Répétition	0 jour	03 mois	06 mois	12 mois
ST	P2O5 (en ppm)	49.02	49.02	44.43	37.54
		49.02	46.73	44.43	39.84
		50.17	46.73	42.13	39.84
	Moyenne	**49.40**	**47.49**	**43.66**	**39.07**
SL1	P2O5 (en ppm)	35.25	35.25	39.84	44.83
		37.54	35.25	39.84	49.02
		37.54	35.25	42.13	46.73
	Moyenne	**36.77**	**35.25**	**40.60**	**46.86**
SL2	P2O5 (en ppm)	37.54	42.13	46.73	50.17
		37.54	42.13	46.73	50.17
		37.54	44.83	44.83	50.17
	Moyenne	**37.54**	**43.03**	**46.09**	**50.17**

Tableau 04 : Teneur en phosphore assimilable dans les systèmes expérimentaux sols-litières-plantules.

Traitements	Répétition	0 jours	03 mois	06 mois	12 mois
ST	P2O5	49.02	44.43	37.54	32.25
		49.02	46.73	37.54	30.66
		50.17	44.43	35.25	30.66
	Moyenne	**49.40**	**45.19**	**36.77**	**31.19**
SL1	P2O5	35.25	32.25	26.06	30.66
		37.54	32.25	26.06	32.25
		37.54	32.25	28.36	32.25
	Moyenne	**36.77**	**32.25**	**26.82**	**31.72**
SL2	P2O5	37.54	35.25	28.36	35.25
		37.54	35.25	28.36	37.54
		37.54	35.25	30.66	37.54
	Moyenne	**37.54**	**35.25**	**29.12**	**36.77**

Tableau 05 : Mensuration des caractéristiques morphologiques des jeunes plantules de pin d'Alep.

Traitements / Mesure	03 mois			06 mois			01 an		
	ST	SL1	SL2	ST	SL1	SL2	ST	SL1	SL2
Nombre d'aiguille	55,2	43,20	55,00	138,40	144,20	139,60	401,00	601,00	657,00
	55	43,00	52,60	130,40	134,00	151,40	445,00	603,00	632,00
	54,8	54,00	55,40	118,00	149,00	215,80	420,00	583,00	645,00
	50,4	60,20	71,40	128,60	162,40	184,20	422,00	560,00	640,00
	50,6	67,20	50,40	140,40	164,60	144,60	460,00	580,00	644,00
Moyenne	**53,20**	**53,52**	**56,96**	**131,16**	**150,84**	**167,12**	**429,60**	**585,40**	**643,60**
Hauteur aérienne (cm)	8 ,54	9,12	9,54	13,10	13,32	12,24	15,40	23,50	24,70
	8,50	7,80	10,06	12,68	12,58	12,64	19,00	22,00	21,70
	8,22	9,30	8,72	11,40	12,94	15,08	20,00	24,80	22
	8,36	8,50	9,86	12,80	12,80	13,64	18,00	19,70	22
	7,50	9,46	9	12,98	14,66	12,40	19,40	20,70	24,70
Moyenne	**8,23**	**8,84**	**9,44**	**12,59**	**13,26**	**13,20**	**18,36**	**22,14**	**23,02**
Longueur des racines (cm)	23,66	13,14	17,04	25,20	19,10	24,80	17,00	45,00	29,50
	18	11,74	20,42	23,80	25,30	23,40	18,30	45,50	25,50
	17,30	16,68	15,80	18,90	22,26	22,80	29,80	50,00	34,30
	16,80	18,24	18,14	26,00	27,26	29,10	35,00	39,30	32,00
	16,30	21,24	15,58	24,50	27,60	22,90	19,00	43,00	33,00
Moyenne	**18,412**	**16,208**	**17,396**	**23,68**	**24,304**	**24,6**	**23,82**	**44,56**	**30,86**
Diamètre au collet (mm)	0,92	0 ,92	1,10	1,30	1,00	1,28	1,60	1,30	2,00
	0,96	0,90	1,04	1,20	1,00	1,20	1,90	1,60	2,00
	0,96	0,96	1,06	1,00	1,00	1,32	1,90	1,40	2,50
	1,02	0,94	1,14	1,20	1,00	1,24	1,90	1,40	1,90
	0,92	0,96	0,96	1,20	1,00	1,16	1,80	1,40	2,00
Moyenne	**0,96**	**0,94**	**1,06**	**1,18**	**1,00**	**1,24**	**1,82**	**1,42**	**2,08**
Poids sec aérien (g/plant)	0,04	0,03	0,03	0,13	0,13	0,12	0,28	0,52	0,80
	0,04	0,02	0,04	0,11	0,14	0,14	0,44	0,72	0,47
	0,03	0,05	0,03	0,09	0,15	0,23	0,34	0,52	0,68
	0,03	0,04	0,05	0,12	0,17	0,17	0,33	0,55	0,49
	0,03	0,05	0,03	0,12	0,23	0,12	0,47	0,51	0,49
Moyenne	**0,034**	**0.038**	**0,036**	**0,114**	**0,16**	**0,156**	**0,37**	**0,56**	**0,59**
Poids sec racine (g/plant)	0,01	0,01	0,01	0,03	0,08	0,03	0,06	0,07	0,13
	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,03	0,07	0,14	0,10
	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,13
	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04	0,04	0,07	0,08	0,09
	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,03	0,10	0,10	0,10
Moyenne	**0.01**	**0.01**	**0,01**	**0,03**	**0,04**	**0,03**	**0,07**	**0,09**	**0,11**

Tableau 06 : Composition chimique du végétal

traitements	03 mois			06 mois			12 mois		
	N%	P%	K%	N%	P%	K%	N%	P%	K%
ST	2,8	0,212	1,03	2,1	0,162	1,755	2,18	0,206	0,855
	2,625	0,218	1,005	2,18	0,156	1,755	2,18	0,193	0,793
	2,625	0,249	1,03	2,18	0,156	1,818	1,57	0,206	1,04
moyenne	**2,68**	**0,226**	**1,021**	**2,15**	**0,158**	**1,776**	**1,976**	**0,202**	**0,896**
SL1	2,45	0,256	1,03	1,57	0,162	2,01	2,27	0,243	1,04
	2,27	0,199	1,03	2,45	0,162	1,946	2,27	0,187	0,855
	2,27	0,249	0,974	2.45	0,156	1,88	2,36	0,187	1,04
moyenne	**2,33**	**0.24**	**1,011**	**2.15**	**0,16**	**1,945**	**2,3**	**0,205**	**0,978**
SL2	2,975	0,237	1,099	2,45	0,193	1,946	2,8	0,237	1,04
	2,8	0,249	1,068	2,36	0,168	2,137	2,625	0,20	1,104
	2,8	0,256	1,03	2,45	0,193	2,201	2,625	0,243	1,04
moyenne	**2,86**	**0,247**	**1,065**	**2.42**	**0,184**	**2,094**	**2,683**	**0,226**	**1,06**

Tableau 07 : mensuration prise sur plantule de 03 mois ST

Mensuration prise sur des plantules de 3 mois de pin d Alep Juin 2004 station ST						
hauteur	**pots1**	**pots2**	**pots3**	**pots4**	**pots5**	
p1	8.8	7.5	7.8	8.5	7.5	
p2	9.4	8.5	9.5	7.5	8.5	
p3	8.5	9	7.8	9	8.5	
p4	9	10	8	7.8	6.5	
p5	7	7.5	8	9	6.5	
moyenne	**8.54**	**8.5**	**8.22**	**8.36**	**7.5**	**8.224**
ecartype	**0.92**	**1.06**	**0.72**	**0.69**	**1.00**	
long racine						
p1	29	14	19.5	13	10	
p2	28.5	19	16.5	14	20.5	
p3	19.3	17	18	20	17.5	
p4	23.5	24	19	16	15.5	
p5	18	16	13.5	21	18	
moyenne	**56**	**18.00**	**17.30**	**16.80**	**16.30**	**18.41**
ecartype						
	5.07	**3.81**	**2.41**	**3.56**	**3.95**	
diamètre au collet						
p1	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	
p2	1	1	1	0.9	1	
p3	1	1	1	1	0.9	
p4	0.9	1	1	0.9	0.8	
p5	0.8	0.9	1	1.4	1	
moyenne	**0.92**	**0.96**	**0.96**	**1.02**	**0.92**	**0.956**
ecartype	**0.08**	**0.05**	**0.09**	**0.22**	**0.08**	
n° aiguilles						
p1	54	58	42	53	52	
p2	72	47	66	40	63	
p3	54	76	51	50	45	
p4	50	50	65	43	42	
p5	46	44	50	66	51	
moyenne	**55.2**	**55**	**54.8**	**50.4**	**50.6**	**53.2**
ecartype	**9.96**	**12.85**	**10.38**	**10.16**	**8.08**	
Poids frais aerien						
p1	0.1556	0.1492	0.0857	0.1446	0.1118	
p2	0.1886	0.17	0.1505	0.107	0.1699	
p3	0.1614	0.1667	0.1073	0.1318	0.1551	
p4	0.1443	0.1606	0.1446	0.0863	0.126	
p5	0.0908	0.1094	0.1574	0.1751	0.1198	

moyenne	**0.1481**	**0.1512**	**0.1291**	**0.1290**	**0.1365**	**0.1388**
ecartype	**0.036**	**0.025**	**0.031**	**0.034**	**0.025**	
Poids sec aerien						
p1	0.0404	0.038	0.025	0.0267	0.0217	
p2	0.0524	0.0388	0.0355	0.0189	0.0395	
p3	0.0413	0.0455	0.023	0.0313	0.0361	
p4	0.0384	0.0403	0.0371	0.0195	0.0294	
p5	0.0212	0.03	0.0314	0.0386	0.0266	
moyenne	**0.0387**	**0.0385**	**0.0304**	**0.0270**	**0.0307**	**0.0331**
ecartype	**0.0112**	**0.0056**	**0.0062**	**0.0083**	**0.0072**	
Poids Frais racine						
p1	0.0216	0.0129	0.0198	0.0228	0.0125	
p2	0.0332	0.0207	0.0169	0.0199	0.0228	
p3	0.0184	0.0169	0.011	0.0364	0.0267	
p4	0.0241	0.0268	0.0204	0.0182	0.0195	
p5	0.0137	0.0105	0.0244	0.0147	0.0161	
moyenne	**0.0222**	**0.01756**	**0.0185**	**0.0224**	**0.01952**	**0.020036**
ecartype	**0.0073**	**0.0065**	**0.0050**	**0.0084**	**0.0056**	
Poids sec racine						
p1	0.0188	0.0071	0.0062	0.0069	0.003	
p2	0.0158	0.0188	0.0099	0.0045	0.0084	
p3	0.0188	0.0099	0.0067	0.0079	0.0104	
p4	0.013	0.0087	0.0188	0.0045	0.0062	
p5	0.007	0.0064	0.0066	0.004	0.0063	
moyenne	**0.0147**	**0.0102**	**0.0096**	**0.0056**	**0.0069**	**0.0094**
ecartype	**0.0049**	**0.0050**	**0.0053**	**0.0017**	**0.0028**	

Tableau 08 : mensuration prise sur plantule de 03 mois SL1

Mensuration prise sur des plantules de 3 mois de pin d Alep Juin 2004 station SL1						
hauteur	**Pot 1**	**Pot 2**	**Pot 3**	**Pot 4**	**Pot 5**	
p1	9.8	8.3	8.7	6.6	8.8	
p2	8.6	6.2	8.3	8.5	8	
p3	8.5	8.5	9.5	9.5	11	
p4	7.7	8	10.5	8	9	
p5	11	8	9.5	9.9	10.5	
moyenne	**9.12**	**7.8**	**9.3**	**8.5**	**9.46**	**8.836**
ecartype	**1.29**	**0.92**	**0.85**	**1.31**	**1.25**	
long racine						
p1	13.2	12.5	27.5	20.7	14.5	
p2	14	14	10.5	11.5	15	
p3	14	13.2	18	25.5	30	
p4	12	9	15	14	21.5	
p5	12.5	10	12.4	19.5	25.2	
moyenne		**11.74**	**16.68**	**18.24**	**21.24**	**16.21**
ecartype	**0.89 €**	**2.14 €**	**6.6736**	**5.5622**	**6.6493**	
diamètre au collet						
p1	1	1	0.8	0.8	0.9	
p2	0.9	0.8	1	1	0.9	
p3	1	0.9	1	0.9	1	
p4	0.7	1	1	1	1	
p5	1	0.8	1	1	1	
moyenne	**0.92**	**0.9**	**0.96**	**0.94**	**0.96**	**0.936**
ecartype	**0.13**	**0.10**	**0.09**	**0.09**	**0.05**	
n° aiguilles						
p1	46	51	55	42	61	
p2	44	34	48	53	64	
p3	38	35	60	63	69	
p4	42	53	57	67	66	
p5	46	42	50	76	76	
moyenne	**43.2**	**43**	**54**	**60.2**	**67.2**	**53.52**
ecartype	**3.35**	**8.80**	**4.95**	**13.10**	**5.72**	
Poids frais aérien						
p1	0.1426	0.1373	0.1622	0.0867	0.1573	
p2	0.1154	0.0751	0.1512	0.1099	0.1434	
p3	0.1089	0.1199	0.1966	0.2095	0.292	
p4	0.1151	0.1757	0.223	0.2212	0.1635	
p5	0.1812	0.1079	0.1794	0.3017	0.2477	
moyenne	**0.1326**	**0.1232**	**0.1825**	**0.1858**	**0.2008**	**0.1650**

ecartype	**0.030**	**0.037**	**0.028**	**0.088**	**0.065**	
Poids sec aérien						
p1	0.026	0.0226	0.045	0.023	0.0381	
p2	0.0238	0.0116	0.0369	0.0292	0.03	
p3	0.0188	0.0231	0.0509	0.0492	0.0663	
p4	0.0241	0.0358	0.0573	0.0472	0.0392	
p5	0.0464	0.0188	0.0445	0.0674	0.062	
moyenne	**0.0278**	**0.0224**	**0.0469**	**0.0432**	**0.0471**	**0.0375**
ecartype	**0.0107**	**0.0088**	**0.0076**	**0.0176**	**0.0160**	
Poids Frais racine						
p1	0.018	0.0126	0.0303	0.0183	0.0148	
p2	0.0097	0.0075	0.0148	0.0122	0.0148	
p3	0.011	0.097	0.0258	0.0227	0.0387	
p4	0.0055	0.0193	0.0226	0.0171	0.0161	
p5	0.0185	0.0085	0.0167	0.0335	0.0241	
moyenne	**0.01254**	**0.02898**	**0.02204**	**0.02076**	**0.0217**	**0.021204**
ecartype	**0.0056**	**0.0383**	**0.0064**	**0.0080**	**0.0103**	
Poids sec racine						
p1	0.0066	0.0033	0.0183	0.0094	0.007	
p2	0.0042	0.0016	0.0062	0.0055	0.007	
p3	0.0044	0.0035	0.0135	0.0104	0.0167	
p4	0.004	0.0071	0.0086	0.0078	0.0109	
p5	0.0073	0.0029	0.0061	0.015	0.0131	
moyenne	**0.0053**	**0.0037**	**0.0105**	**0.0096**	**0.0109**	**0.0080**
ecartype	**0.0015**	**0.0020**	**0.0053**	**0.0035**	**0.0042**	

Tableau 09 : mensuration prise sur plantule de 03 mois SL2

Mensuration prise sur des plantules de 3 mois de pin d alep Juin 2004 station SL2						
hauteur	**Pot 1**	**Pot 2**	**Pot 3**	**Pot 4**	**Pot 5**	
p1	10.7	7.8	7.8	10.3	9.5	
p2	9.9	10	12.3	9.5	10	
p3	9.8	11.5	6.5	10.5	8.5	
p4	9.3	10.5	9.5	8	7	
p5	8	10.5	7.5	11	10	
moyenne	**9.54**	**10.06**	**8.72**	**9.86**	**9**	**9.436**
ecartype	**1.00**	**1.38**	**2.27**	**1.17**	**1.27**	
long racine						
p1	21.18	14	12.5	19.2	14.5	
p2	19.6	19.5	30	20.2	23.5	
p3	19.4	26	11.5	24.5	15	
p4	14	22.8	12.5	11.5	13.4	
p5	11	19.8	12.5	15.3	11.5	
moyenne	**17.04**	**20.42**	**15.8**	**18.14**	**15.58**	**17.40**
ecartype	**4.33**	**4.4511**	**7.9498**	**4.9490**	**4.6268**	
diamètre au collet						
p1	1.3	1	0.8	1.1	1	
p2	1	1	1.4	1.1	1	
p3	1	1.2	1	1.2	1	
p4	1.2	1	1	1.3	0.8	
p5	1	1	1.1	1	1	
moyenne	**1.1**	**1.04**	**1.06**	**1.14**	**0.96**	**1.06**
ecartype	**0.14**	**0.09**	**0.22**	**0.11**	**0.09**	
n° aiguilles						
p1	68	55	50	63	61	
p2	51	54	73	69	64	
p3	55	55	50	95	50	
p4	49	50	50	80	34	
p5	52	49	54	50	43	
moyenne	**55**	**52.6**	**55.4**	**71.4**	**50.4**	**56.96**
ecartype	**7.58**	**2.88**	**9.99**	**17.07**	**12.46**	
Poids frais aérien						
p1	0.2212	0.1029	0.0645	0.1766	0.161	
p2	0.1883	0.1631	0.403	0.1806	0.2047	
p3	0.1333	0.2245	0.0344	0.3197	0.171	
p4	0.1487	0.2096	0.1202	0.1081	0.0854	
p5	0.1304	0.2126	0.0978	0.2054	0.1453	
moyenne	**0.1644**	**0.1825**	**0.1440**	**0.1981**	**0.1535**	**0.1685**
ecartype	**0.039**	**0.050**	**0.148**	**0.077**	**0.044**	

Poids sec aérien						
p1	0.0395	0.0185	0.0169	0.0343	0.0348	
p2	0.0378	0.0349	0.085	0.036	0.0491	
p3	0.0439	0.0558	0.0083	0.0715	0.0357	
p4	0.0273	0.0434	0.0309	0.0596	0.0172	
p5	0.0254	0.0393	0.0261	0.0418	0.0281	
moyenne	**0.0348**	**0.0384**	**0.0334**	**0.0486**	**0.0330**	**0.0376**
ecartype	**0.0080**	**0.0136**	**0.0301**	**0.0162**	**0.0117**	
Poids Frais racine						
p1	0.0408	0.0147	0.0645	0.0196	0.0109	
p2	0.0239	0.0456	0.0455	0.0178	0.0329	
p3	0.0104	0.0264	0.0068	0.0356	0.0144	
p4	0.0232	0.0269	0.0103	0.0212	0.009	
p5	0.0137	0.0197	0.01	0.0167	0.0102	
moyenne	**0.0224**	**0.0267**	**0.0274**	**0.0222**	**0.0155**	**0.0228**
ecartype	**0.0118**	**0.0117**	**0.0261**	**0.0077**	**0.0099**	
Poids sec racine						
p1	0.0084	0.0042	0.0036	0.0084	0.0044	
p2	0.0092	0.0054	0.0184	0.0074	0.0137	
p3	0.0092	0.0116	0.0029	0.0175	0.0059	
p4	0.0065	0.011	0.0036	0.0064	0.0038	
p5	0.005	0.0074	0.0054	0.0067	0.0029	
moyenne	**0.0077**	**0.0079**	**0.0068**	**0.0093**	**0.0061**	**0.0076**
ecartype	**0.0019**	**0.0033**	**0.0066**	**0.0047**	**0.0044**	

Tableau 10 : mensuration prise sur plantule de 06 mois ST

Mensuration prise sur des plantules de 6 mois de pin d alep Juin 2004 station ST						
hauteur	**Pot 1**	**Pot 2**	**Pot 3**	**Pot 4**	**Pot 5**	
p1	13	15	11	12	13.5	
p2	13	13.4	10	13	15	
p3	12.5	14	9.5	13	13.4	
p4	13.5	9	15	12.5	14	
p5	13.5	12	11.5	13.5	9	
moyenne	**13.1**	**12.68**	**11.4**	**12.8**	**12.98**	**12.59**
ecartype	**0.418**	**2.326**	**2.162**	**0.570**	**2.313**	
long racine						
p1	27	23.5	14.5	27	23	
p2	27	16	17	27	23.5	
p3	26	23	9	27	16	
p4	23	37	29.5	26	23	
p5	23	19.5	24.5	23	37	
Moyenne	**25.2**	**23.8**	**18.9**	**26**	**24.5**	**23.68**
ecartype	2.05	7.97	8.13	1.73	7.65	
diamtre au colet						
p1	1.2	1.3	0.8	1	1.3	
p2	1.3	1.2	0.9	1.2	1.3	
p3	1.3	1	0.8	1.3	1.2	
p4	1.2	1.3	1.3	1.3	1.0	
p5	1.3	1.0	1.1	1.2	1.3	
moyenne	**1.3**	**1.2**	**1.0**	**1.2**	**1.2**	**1.2**
ecartype						
n° aiguilles						
p1	136	165	87	117	166	
p2	130	159	111	136	165	
p3	130	132	72	130	159	
p4	130	80	200	130	132	
p5	166	116	120	130	80	
moyenne	**138.4**	**130.4**	**118**	**128.6**	**140.4**	**131.16**
ecartype	**15.65**	**34.52**	**49.63**	**6.99**	**36.49**	
Poids frais aerien						
p1	0.5184	0.6700	0.3361	0.315	0.502	
p2	0.5332	0.4873	0.2918	0.5184	0.67	
p3	0.5819	0.4657	0.2579	0.5332	0.4873	
p4	0.568	0.2723	0.623	0.5819	0.4657	
p5	0.502	0.4584	0.4266	0.568	0.2723	
moyenne	**0.5057**	**0.4289**	**0.4452**	**0.4914**	**0.4795**	**0.4701**
ecartype	**0.103**	**0.142**	**0.136**	**0.119**	**0.141**	

Poids sec aerien						
p1	0.1196	0.1674	0.0756	0.0787	0.1300	
p2	0.1177	0.1226	0.0663	0.1196	0.1674	
p3	0.1361	0.1195	0.0635	0.1177	0.1226	
p4	0.1285	0.0511	0.1557	0.1361	0.1195	
p5	0.13	0.1041	0.1066	0.1285	0.0511	
moyenne	**0.1264**	**0.1129**	**0.0935**	**0.1161**	**0.1181**	**0.1134**
ecartype	**0.0076**	**0.0419**	**0.0387**	**0.0222**	**0.0421**	
Poids Frais racine						
p1	0.1001	0.1069	0.0446	0.05	0.1146	
p2	0.1016	0.0726	0.0447	0.1001	0.1069	
p3	0.0885	0.679	0.0256	0.1016	0.0726	
p4	0.1387	0.0533	0.145	0.0885	0.679	
p5	0.1146	0.0742	0.0752	0.0707	0.0533	
moyenne	**0.1087**	**0.1972**	**0.0670**	**0.0822**	**0.2053**	**0.1321**
ecartype	**0.0191**	**0.2700**	**0.0471**	**0.0218**	**0.2660**	
Poids sec racines						
p1	0.0362	0.0336	0.0163	0.0157	0.0451	
p2	0.0379	0.0293	0.0165	0.0362	0.0336	
p3	0.0287	0.0273	0.0089	0.0379	0.0293	
p4	0.0231	0.0154	0.0456	0.0287	0.0273	
p5	0.0451	0.0236	0.0237	0.0231	0.0154	
moyenne	**0.0342**	**0.0258**	**0.0222**	**0.0180**	**0.0251**	**0.0251**
ecartype	**0.0085**	**0.0069**	**0.0141**	**0.0092**	**0.0107**	

Tableau 11: mensuration prise sur plantule de 06 mois SL1

Mensuration prise sur des plantules de 6 mois de pin d Alep Juin 2004 station SL1						
hauteur	**Pot 1**	**Pot 2**	**Pot 3**	**Pot 4**	**Pot 5**	
p1	14.8	12.4	15.2	12.5	18	
p2	9.8	14	12.5	13.5	14.7	
p3	13.5	12.5	12.5	14	16	
p4	14	13	12	11.5	14.8	
p5	14.5	11	12.5	12.5	9.8	
moyenne	**13.32**	**12.58**	**12.94**	**12.8**	**14.6600**	**13.26**
ecartype	**2.029**	**1.087**	**1.282**	**0.975**	**3.025**	
long racine						
p1	26	18.5	18.5	31	25	
p2	18	35.5	17	29.5	33	
p3	16	26	30	26	36	
p4	14	19.5	22.5	24.8	26	
p5	21.5	27	23.3	25	18	
moyenne	**19.10**	**25.30**	**22.26**	**27.26**	**27.6**	**24.3**
ecartype	4.75	6.84	5.07	2.82	7.09	
diamètre au collet						
p1	1	1.1	1.4	1.3	1.4	
p2	0.9	1.3	1.1	1.5	1.4	
p3	1.2	1.5	1.1	1.5	1.2	
p4	1.3	1.1	1.2	1.3	1	
p5	1.3	1	1.1	1	0.9	**1.06**
moyenne	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	
ecartype						
n° aiguilles						
p1	162	130	186	172	243	
p2	98	140	136.00	194	200	
p3	152	146	156	109	152	
p4	130	140	135.00	184	98	
p5	179	114	132	153	130	
moyenne	**144.2**	**134**	**149**	**162.4**	**164.6**	**150.84**
ecartype	**31.32**	**12.57**	**22.76**	**33.53**	**57.43**	
Poids frais aerien						
p1	0.5998	0.4420	0.7924	0.5518	1.2884	
p2	0.3288	0.6491	0.4568	0.8065	1.1501	
p3	0.5543	0.6308	0.6192	0.5711	0.8351	
p4	0.389	0.4968	0.4456	0.6853	0.5998	
p5	0.502	0.3467	0.4714	0.5191	0.3288	
moyenne	**0.4748**	**0.5131**	**0.5571**	**0.6268**	**0.8404**	**0.6024**
ecartype	**0.113**	**0.128**	**0.149**	**0.118**	**0.393**	

Poids sec aerien						
p1	0.178	0.1188	0.2129	0.1483	0.3462	
p2	0.0749	0.1744	0.1227	0.2167	0.3090	
p3	0.1386	0.1695	0.1664	0.1534	0.2244	
p4	0.1165	0.1335	0.1197	0.1841	0.1780	
p5	0.1298	0.0931	0.1267	0.1395	0.0749	
moyenne	**0.1276**	**0.1379**	**0.1497**	**0.1684**	**0.2265**	**0.1620**
ecartype	**0.0373**	**0.0343**	**0.0401**	**0.0318**	**0.1078**	
Poids Frais racine						
p1	0.0873	0.0733	0.1193	0.1109	0.1546	
p2	0.0412	0.0982	0.0944	0.176	0.1388	
p3	0.0622	0.1251	0.0922	0.0931	0.1303	
p4	0.111	0.0706	0.0735	0.0963	0.0873	
p5	0.092	0.0447	0.0732	0.0846	0.0412	
moyenne	**0.07874**	**0.0824**	**0.0905**	**0.1122**	**0.1104**	**0.0949**
ecartype	**0.0273**	**0.0305**	**0.0189**	**0.0369**	**0.0460**	
Poids sec racines						
p1	0.0309	0.0242	0.0393	0.0366	0.0510	
p2	0.0151	0.0324	0.0311	0.0580	0.0458	
p3	0.0253	0.0412	0.0304	0.0307	0.0430	
p4	0.0281	0.0233	0.0242	0.0317	0.0309	
p5	0.0304	0.0147	0.0241	0.0279	0.0151	
moyenne	**0.0260**	**0.0272**	**0.0298**	**0.0370**	**0.0371**	0.0314
ecartype	**0.0065**	**0.0100**	**0.0062**	**0.0122**	**0.0144**	

Tableau 12 : mensuration prise sur plantule de 06 mois SL2

Mensuration prise sur des plantules de 6 mois de pin d Alep Juin 2004 station SL2						
hauteur	**Pot 1**	**Pot 2**	**Pot 3**	**Pot 4**	**Pot 5**	
p1	13.2	15.5	15.5	13.5	11.5	
p2	14	12.50	15	13	10	
p3	11.5	12.2	13.4	14.5	12.5	
p4	10	11.5	16.5	13.2	15.5	
p5	12.5	11.5	15	14	12.5	
moyenne	**12.24**	**12.64**	**15.08**	**13.64**	**12.40**	**13.2**
ecartype	**1.553**	**1.658**	**1.121**	**0.611**	**2.012**	
long racine						
p1	25	20.5	28	41	26	
p2	25	20	14	32	19.5	
p3	26	32	14	22.5	28.5	
p4	19.5	19.5	27	25	20.5	
p5	28.5	25	31	25	20	
moyenne	**24.8**	**23.4**	**22.8**	**29.1**	**22.9**	**24.6**
ecartype	3.29	5.28	8.17	7.54	4.08	
diamètre au collet						
p1	1.5	1.3	1.3	1	1.2	
p2	1.4	1	1.2	1	1	
p3	1.2	1.3	1.5	1.3	1.3	
p4	1	1.2	1.3	1.5	1.3	
p5	1.3	1.2	1.3	1.4	1	
moyenne	**1.28**	**1.2**	**1.32**	**1.24**	**1.16**	**1.24**
ecartype	**0.19**	**0.12**	**0.11**	**0.23**	**0.15**	
n° aiguilles						
p1	140	165	210	226	117	
p2	156	156	164	169	125	
p3	117	123	198	230	160	
p4	125	158	271	140	165	
p5	160	155	236	156	156	
moyenne	**139.6**	**151.4**	**215.8**	**184.2**	**144.6**	**167.12**
ecartype	**18.77**	**16.35**	**40.28**	**41.31**	**21.96**	
Poids frais aérien						
p1	0.5263	0.4931	0.8826	0.607	0.0957	
p2	0.7726	0.4179	0.6079	0.5467	0.0861	
p3	0.0957	0.4651	0.7529	0.6742	0.4581	
p4	0.0861	0.4422	0.9118	0.5263	0.4931	
p5	0.4581	0.5034	0.7089	0.7726	0.4179	
moyenne	**0.3878**	**0.4643**	**0.7728**	**0.6254**	**0.3102**	**0.5121**
ecartype	**0.295**	**0.035**	**0.126**	**0.101**	**0.202**	

Poids sec aérien						
p1	0.1784	0.1877	0.2645	0.1819	0.0957	
p2	0.1287	0.1069	0.1822	0.1638	0.0861	
p3	0.0957	0.1223	0.2256	0.2021	0.1243	
p4	0.0861	0.1195	0.2733	0.1784	0.1877	
p5	0.1243	0.1509	0.2125	0.1287	0.1069	
moyenne	**0.1226**	**0.1375**	**0.2316**	**0.1710**	**0.1201**	**0.1566**
ecartype	**0.0361**	**0.0324**	**0.0376**	**0.0273**	**0.0404**	
Poids Frais racine						
p1	0.0664	0.0788	0.1618	0.099	0.0304	
p2	0.1244	0.066	0.0577	0.0912	0.0226	
p3	0.0304	0.0778	0.1011	0.0884	0.1146	
p4	0.0226	0.0855	0.1319	0.0664	0.0788	
p5	0.1146	0.0796	0.114	0.1244	0.066	
moyenne	**0.07168**	**0.07754**	**0.1133**	**0.09388**	**0.06248**	**0.0838**
ecartype	**0.0468**	**0.0071**	**0.0385**	**0.0209**	**0.0375**	
Poids sec racines						
p1	0.0494	0.0359	0.0771	0.0472	0.0304	
p2	0.0272	0.0282	0.0275	0.0435	0.0226	
p3	0.0304	0.0354	0.0482	0.0421	0.0412	
p4	0.0226	0.0353	0.0629	0.0494	0.0359	
p5	0.0412	0.0379	0.0543	0.0272	0.0282	
moyenne	**0.0342**	**0.0345**	**0.0540**	**0.0419**	**0.0317**	**0.0392**
ecartype	**0.0109**	**0.0037**	**0.0184**	**0.0087**	**0.0072**	

Résumé

Dans les écosystèmes forestiers, les peuplements de pin d'Alep (*Pinus halepensis Mill*) revêtent une importance particulière en raison de la surface qu'ils recouvrent, représentant environ 35 % des surfaces boisées de l'Algérie du Nord. Différentes investigations ont révélé que cette essence forestière se développe sur des sols à horizon d'accumulation calcaire. Ces sols et d'autres types pédologiques caractérisent le plus souvent différents écosystèmes forestiers qui connaissent de sérieux problèmes de régénération et de production de peuplements particulièrement dans les étages bioclimatiques semi-aride et aride. Actuellement, les préoccupations concernant la qualité des sols, leur évolution et la dynamique des peuplements sont à l'origine d'une nouvelle problématique forestière qui mérite d'être élucidée.

Dans le même contexte, il a été intéressant de connaître dans quelle mesure, à quel rythme et quelle serait l'importance relative de l'influence qu'exercerait le type de forêt et plus précisément le type de pineraie (la pineraie pure et la pineraie chênaie) sur, le potentiel de fertilité chimique des sols forestiers et le comportement de jeunes plants de pin d'Alep. Quel rôle pourrait jouer le chêne vert quant il y est associé au pin dans les processus de fertilité des sols et de production des peuplements forestiers ?

Cette étude fait ressortir nettement un effet favorable «station mixte » dans l'amélioration des propriétés du sol et dans l'enrichissement du milieu édaphique en éléments chimiques nécessaires à la nutrition des peuplements. Ainsi, les sols qui subissent l'effet d'une végétation mixte «feuillue et résineux » sont dotés d'un pouvoir de mobilisation des éléments chimiques N, P relativement élevé.

Aussi, l'analyse des résultats relatifs aux caractères morphométriques et biométriques du pin d'Alep après 12 mois de culture en pots montre, que les plantules développés dans la pineraie chênaie se caractérisent par un meilleur développement de l'appareil foliaire, une plus grande croissance verticale et radiale (hauteur totale, diamètre au collet), et une plus forte production de matière sèche.

En conséquence, il semble important de favoriser le développement des forêts mixtes de pin d'Alep à chêne vert comparativement aux forêts monospécifiques de résineux a base de pin d'Alep, car cela peut représenter une pratique d'aménagement forestier d'avenir ; qui peut être obtenu par l'installation de taillis de chêne vert sous futaie de pin d'Alep comme le confirme la présente étude, où il est démontré que la forêt mixte (feuillue et résineux) possède une plus grande capacité de mobilisation des éléments nutritifs dans les sols, et cela en relation avec les litières dont la décomposition est facile et qui libèrent une quantité d'éléments nutritifs plus grande que les forêts monospécifiques.

Mots clés : pineraie, pineraie – chênaie, feuillue, résineux, fertilité des sols, croissance, biomasse, azote, phosphore.

الملخص

يغطي الصنوبر الحلبي في الأنظمة البيئية الحراجية للشمال الجزائري مساحة معتبرة، تمثل 35 % من مجموع المساحات المشجرة. غالبا ما ينموا هذا الصنف على تربة كلسية في الطوابق البيومناخية الشبه الجافة و الجافة التي تواجه حاليا مشاكل في تجديد و نمو المجموعات الحراجية. في هذا السياق أردنا معرفة تأثير نوع غابات الصنوبر الحلبي (غابة الصنوبر الحلبي و غابة مختلطة للصنوبر الحلبي و البلوط الأخضر) على الخصوبة الكيميائية للتربة الحراجية و على طريقة نمو الشتلات الصغيرة للصنوبر الحلبي. و هنا السؤال المطروح، ما هو دور البلوط الأخضر عندما يكون متواجد مع الصنوبر الحلبي في خصوبة التربة و إنتاج المجموعات الحراجية.

أثبتت هذه الدراسة أن المجموعات المختلطة تقوم بتحسين مميزات التربة حيث تمدها المواد المعدنية اللازمة لتغذية النباتات. إذن التربة المتكونة في الغابات المختلطة من مورقات و أشجار ابرية تكون جد غنية بالمواد الكيميائية (نسبة الأزوت و الفسفور مرتفعة).

أيضا النتائج الخاصة بنمو الشتلات للصنوبر الحلبي بعد 12 شهر من زراعتها بينت أن شتلات الأوساط المختلطة تتميز بنمو سريع و جيد (الطول، العرض في القاعدة و إنتاج المادة الجافة) مقارنة بالشتلات المزروعة في الأوساط ذات الصنف الواحد للصنوبر الحلبي.إذن يجب تطوير الغابات المختلطة (الغابات الورقية الابرية) بدلا من الغابات ذات الصنف الواحد.

كلمات مفتاحيه : الصنوبر الحلبي، البلوط الأخضر، ابريه، مورقات، خصوبة التربة،النمو، الازوت، الفسفور.