

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

**UNIVERSITE COLONEL EL HADJ LAKHDAR
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT D'AGRONOMIE**

**THESE
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE MAGISTER EN SCIENCES
AGRONOMIES SPECIALITE:FORESTERIE**

***THEME
L'INFLUENCE DES SUBSTRATS DE CULTURE SUR
L'ENRACINEMENT DE PLANTS SOUS ABRI***

**Présentée par:
BOUKERKER HASSEN**

Devant le jury:

Président	:	BEN TOUATI ABDALLAH	MC Université de Batna
Promoteur	:	ADJROUDI RACHID	MC Université de Batna
Examineurs	:	ZAIDI FAROUK	MC Université de Constantine
		BENSAID RABEH	MC Université de Batna
Examineur invité	:	BOUKABOUB AMAR	CC Université de Batna

Année universitaire:2006-2007

Remerciements

Avant tout je remercie Dieu puissant qui m'a donné la force, la foi en moi de m'avoir permis d'arriver à ce stade.

Je tiens à remercier de façon très particulière mon promoteur Mr ADJROUDI RACHID pour son dévouement, ses précieux conseils et pour m'avoir guidé tout au long de ce travail.

Ainsi, je ne manquerai pas a d'exprimer mes sincères et profondes remerciements, a Mr BOUKAABOUB AMAR, pour ses précieux conseils, aides et encouragement (traitement statistique des donnes).

Mes remerciements s'adressent a monsieur BENTOUATI ABD ALLAH, pour avoir accepter de présider mon jury.

Messieurs, ZAIDI FAROUK et BENSALD RABEH pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant de faire partie du jury.

Je ne saurais oublier de témoigner ma reconnaissance à mes amis en particulier :

**Les techniciens des laboratoires de l'institut d'agronomie de Batna.
Les responsables des bibliothèques des universités de ; Batna, Constantine et Sétif.**

LISTE DES TABLEAUX :

N°	TITRE	PAGE
01	Action de la température sur les appareils	13
02	Le rapport C/N de différentes matières organiques	28
03	Résultats des analyses des différents types d'aérateurs	73
04	Traitements utilisés	36
06	Résultats des analyses du sol	75
07	Résultats des analyses des litières	75
08	Analyses physicochimiques des différents mélanges	76
09	Les différents paramètres étudiés	76, 77
11	Moyennes des analyses biométriques des plants de pin d'Alep après 02 mois de plantation	78
12	Moyennes des analyses biométriques des plants de pin d'Alep après 04 mois de plantation	
13	Moyennes des analyses biométriques des plants de pin d'Alep après 06 mois de plantation	79
14	Moyennes des analyses biométriques des plants de pin d'Alep des trois périodes (02, 04 et 06 mois) de plantation	80
14	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	41
15	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	41
16	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	42
17	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	43
18	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	44
19	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	45
20	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	46
21	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	47
22	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	48
23	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	48
24	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	49
25	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	49
26	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	50
27	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	51
28	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	51
29	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	51
30	Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS	52
31	Contrôle du système racinaire sur les plants élevés sur différents milieux de culture.	63

SOMMAIRE:

Introduction générale:

PREMIERE PARTIE: ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

**PREMIER CHAPITRE: CONTRAINTES TECHNIQUES MAJEURES DES
PIPINIERS FORESTIERS CONVENTIONNELLES**

Introduction:.....	01
I.1- Internet de L'élevage des plants en conteneurs par rapport a celui a racines nues..	01
I.2- Production des plants en conteneurs.....	01
I.3- types de conteneurs utilisés dans les régions méditerranéennes semi-aride et aride...	02
I.3-1- Les pots en argile cuite.....	02
I.3-2- La production des plants en motte moulée (préfabriquée).....	02
I.3-3- sachet de polyéthylène perforé	02
I.3-4- Les godets non récupérables.....	02
I.3-5-les conteneurs réutilisables.....	03
I-4- Substrats de croissance utilisés en pépinières	03
- Conclusion.....	04

**DEUXIEME CHAPITRE: LES ELEMENT BIOGENES ET QUELQUES ASPECTS
PHYSIOLOGIQUES DE LA CROISSANCE DES
VEGETAUX**

I- Les éléments biogènes et quelques	
I.1- La composition minérale des végétaux:.....	05
I.1-1- Les macroéléments:.....	05
I.1-2- Les oligoéléments:.....	05
I.2- Rôle des principaux éléments biogènes:.....	05
I.2-1- L'azote:.....	06
A- L'azote dans le sol et la plante:.....	06
I.2-2- Le phosphore:.....	06
A- Le phosphore dans le sol et la plante:.....	06
I.2-3- Le potassium:.....	07
A- Le potassium dans le sol et la plante:.....	07
I-2-4- Le calcium:.....	07
A- Le calcium dans le sol et la plante:.....	07
I-2-5- Le magnésium:.....	07
A- Le magnésium dans le sol:.....	07

II- Quelques aspects physiologiques de la croissance des végétaux.....	08
- Description de la croissance:.....	08
II-1- A l'échelle de la plante:.....	08
II-2- A l'échelle cellulaire:.....	09
II-2-1- La croissance primaire :.....	09
II-2-2- La croissance secondaire:.....	09
II-3- Corrélation morphologique entre système racinaire et system aérien:.....	09
II-4- Le système racinaire:.....	10
II-4-1- Définition et rôle:.....	10
II-4-2- Rôle du système racinaire:.....	10
II-4-2-1- Respiration:.....	10
II-4-2-2- Absorption et mycorhizes:.....	10
II-4-2-3- Excrétion:.....	10
II-4-2-4- Synthèses:.....	10
II-4-2-5- Mise ne réserves:.....	10
II-4-2-6- Racines et ancrage:.....	11
II-5- Constituants du système racinaire:	11
II-6- Description de la croissance du système racinaire:	11
A- Croissance en longueur.....	11
B- Croissance en épaisseur.....	12
II-7- Direction de croissance des racines:.....	12
A- Tropisme.....	12
B- Géotropisme.....	12
II-1- Facteurs de croissance agissant sur la morphogénèse:	12
II-2- Etude du déterminisme de l'allongement des racines:.....	12
II-2-1- Détermination exogène:.....	13
A- Action de la teneur en eau:.....	13
B- Action de la teneur en oxygène du milieu racinaire:.....	13
C- La teneur en éléments nutritifs:.....	14
D- Action des caractéristiques physiques du sol:.....	14
II-2-2- Déterminisme Endogène.....	14
A- Rôle des feuilles:.....	14
B- Rôle des bourgeons:.....	14
II-3- Effet de la section du pivot des semis sur la morphogénèse.....	14
II-4- Comportement des racines en conteneurs:.....	40
II-4-1- Déformations racinaires:.....	15
II-4-2- Déformation en crosse:.....	17
II-5-3- Déformation en chignon.....	17

TROISEME CHAPITRE:

LES SUBSTRATS DE CULTURE

Introduction et généralités:.....	18
Les constituants d'un substrat de culture :.....	18
I.1- Définition et généralité :.....	18
I.2- Matériel organique:.....	18
I.2-1- Effet de la matière organique:.....	18
I.2-2- Différents types de substrats culturaux.....	19
I.2-3- Source en matière organique:.....	19
I.2-3-1- Les tourbes:.....	19
I.2-3-1-1- Caractéristiques des tourbes:.....	20
A- Tourbe blonde:.....	20
B- Tourbes noires:.....	20
I.2-3-2- Les écorces:.....	21
I.2-3-2-1- Propriétés essentielles	21
I.2-3-2-2- Vitesse de décomposition:.....	22
I.2-3-3- Déchets cellulo-ligneux:.....	22
I.2-3-4- Les sciures de bois:.....	22
I.2-3-5- Le compost-urbain:.....	22
I.2-3-6- Les tourteaux:.....	22
I.2-3-7- Marque de raisin:.....	23
I.2-3-8- Fumier de ferme:.....	23
I.3- Matériaux minéraux:.....	23
I.3-1- Matériaux naturels:.....	23
I.3-2- Les matériaux expansés:.....	23
I.4- Propriétés physiques, chimiques et physico-chimiques du substrat:.....	23
I.4-1- Principales qualités physiques requise pour un substrat:.....	24
I.4-1-1- La texture:.....	24
I.4-1-1-1- Propriétés des différentes particules granulométriques:...	24
I.4-1-1-2- Action de la texture.....	24
I.4-1-2- La structure:.....	24
I.4-1-3- La perméabilité:.....	25
I.4-1-4- La porosité:.....	25
I.4-1-5- La rétention en eau:	26
I.4-1- Caractéristiques chimiques des substrats:.....	26
I.4-1-1- Le pH:.....	27
I.4-1-2- Rapport carbone/azote (C/N):.....	27

II-1-4-2- Minéralisation des échantillons des litières, écorce, tourteaux d'olivier, écailles et la sciure.....	38
II-1-4-3- Dosage.....	38
II-1-4-4- Détermination de l'azote total.....	39
II-1-4-5- Détermination du carbone organique	39
II-2-Prélèvement des échantillons des plants.....	39
II-2-1- Mode d'arrosage des plants.....	39
II-3- Dispositif expérimental.....	39
II-4- Mesures effectuées.....	40
II-4-1- Paramètres biométriques	40
II-4-2- Paramètres qualitatifs.....	40
II-5- Analyse statistique employées.....	40

TROISIEME PARTIE:

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats et discussions	41
I- Etude statistique.....	41
I-1- Analyse de la variance.....	41
- Conclusion.....	52
I-2- Etude morphométrique	53
I-2-1- Action du type de mélange sur les caractéristiques dimensionnelles et pondérales des plantes.....	53
A- La longueur total des racines (LTS).....	53
B- La finesse racinaire (SRL).....	53
C- La matière sèche racinaire (PSS)	54
D- La longueur maximale des racines (LXS)	55
E- Le rapport de matière sèche entre les racines et la partie aérienne (R1).....	56
F- Le rapport entre la longueur total des racines et la longueur maximal racinaire (R2).....	56
G- Poids frais partie souterraine (PHS)	57
H- Diamètre au collet (DMC)	57
I- Poids sec partie aérienne (PSA).....	58
J- Nombre d'aiguilles par plant (NAP).....	58
K- Poids frais partie aérienne (PHA).....	59
L- Longueur de la partie aérienne (LGA).....	59
M- Longueur totale d'aiguilles par plant (LAP)...	60
Conclusion.....	60
I-3- Action du type de mélange sur les caractéristiques morphologiques des plantes....	62
Conclusion générale...	64

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ANNEXE

Etude bibliographique

PREMIER CHAPITRE:

CONTRAINTES TECHNIQUES MAJEURES DES PEPINIERES FORESTIERS

CONVENTIONNELLES

Introduction:

En plus des problèmes liés au substrat et à l'utilisation du sachet, la qualité des plants est parmi les principales causes des échecs des reboisements. Les techniques et la gestion de la production des plants varient d'une pépinière à l'autre et rendent l'amélioration des techniques de production et l'harmonisation des normes de qualité fort difficiles. Les plants utilisés dans les programmes de reboisement ne sont jamais triés selon des normes de qualité spécifiques à chaque essence. L'utilisation des lots de plants de qualité hétérogène ne pourrait qu'augmenter le coût d'installation du peuplement (regarnis et entretien) et rend difficile la synchronisation des travaux sylvicoles durant les différentes phases de croissance. La connaissance préalable des normes de qualité spécifiques à chaque essence permettrait au reboiseur de prédire, dans une certaine mesure, la performance des plants en site de reboisement.

I.1- Intérêt de L'élevage des plants en conteneurs par rapport a celui a racines nues:

En Afrique du Nord, la production des plants forestiers dans les pépinières forestières a commencé tout d'abord avec le mode de production des plants à racines nues. Ce mode de production a été pratiqué généralement dans les pépinières volantes pour répondre uniquement aux besoins des programmes de reboisement prospectifs à moyen terme. Ces pépinières restent fonctionnelles généralement pour une durée de 3 à 5 ans. En plus de l'irrégularité des précipitations et de la sévérité de la saison sèche, les forestiers se sont rendu compte que l'utilisation des plants à racines nues ne peut être retenue comme technique de production à grande échelle à cause des exigences en matière de production, de conservation et du maintien de la qualité des plants durant les différentes opérations (transport, stockage en site de reboisement, manutention...). Malgré l'importance du mode de production des plants à racines nues à l'échelle mondiale, en Afrique du Nord, ce mode a été remplacé vers les années 50 par les pots en argile cuite, les mottes moulées et le sachet de polyéthylène.

I.2- Production des plants en conteneurs:

Dans les pays méditerranéens arides et semi-arides, et en raison des difficultés de reprise des plants du fait de la sécheresse, d'une végétation adventive concurrente

parfois forte, on a été amené à s'orienter vers les méthodes de production en grands conteneurs (LANIER, 1976).

I.3- types de conteneurs utilisés dans les régions méditerranéennes :

I.3-1- Les pots en argile cuite: ont été utilisés jusqu'au début des années 60 pour assurer une bonne partie de la production des plants au Maroc et en Tunisie. Cette technique de culture des plants en pots d'argile cuite comporte plusieurs **inconconvénients majeurs** à savoir le coût des pots, le volume limité de croissance des racines, la formation du chignon et la fragilité des pots durant leur manutention. Lorsque les racines traversent le trou du pot, l'ouvrier est obligé de secouer le pot pour extirper le plant entraînant ainsi une désagrégation de la motte.

I.3-2- La production des plants en motte moulée (préfabriquée): utilisé depuis 1950, dans les pépinières forestières. Les mottes sont constituées par un mélange spécifique (sable, argile, paille et fumier) et façonnées par des presse mottes. Après nivellement, les mottes sont alignées sur les planches et ne sont jamais enfouies afin d'éviter l'asphyxie des racines. Les alvéoles sont par la suite remplies avec du sable ou du terreau de charbonnière très fin avant de semer les graines. Ces mottes ont un inconvénient majeur, à savoir la croissance des racines à travers plusieurs mottes et leur poids énorme lors du transport. Lors de l'enlèvement et de l'individualisation de ces plants, l'effritement des mottes rend les racines plus exposées aux différents stress abiotiques et biotiques.

I.3-3- Sachet de polyéthylène perforé : Les modes de production précédents ont cédé la place au sachet de polyéthylène perforé dont l'utilisation à grande échelle dans les pépinières a commencé vers les années 60 et est actuellement le mode de production le plus utilisé au monde. Dans la majorité des pays, les sachets de polyéthylène sont placés dans des planches creusées. L'hydromorphie prolongée à cause de l'absence de système de drainage, peut engendrer des pertes importantes de plants forestiers. Ce système de culture favorise aussi le développement des mauvaises herbes. Pour pallier ces problèmes, certaines pépinières ont opté pour la construction de planches cimentées en vue d'assurer un bon drainage et de limiter l'envahissement des plants forestiers par les mauvaises herbes.

I-3-4- Les godets non récupérables:

Ces godets se présentent sous diverses formes et différentes dimensions.

- parois perméables aux racines, à l'air libre ces dernières se dessèchent, l'autocernage est donc assuré.

- Ce type de conteneur peut être enterré à la plantation, ainsi le choc de transplantation est éliminé.

-
- Les plants élevés dans ces godets ont une bonne reprise. La croissance est généralement activée dès la première année de plantation. D'autre part:
 - Ces godets sont assez onéreux
 - Ils sont sensibles à la dessiccation donc trop exigeants en eau.

I-3-5- les conteneurs réutilisables : Plusieurs types de conteneurs ou de récipients (forme, nombre et volume des alvéoles) ont été testés dans la région méditerranéenne. Ces conteneurs sont réutilisables et ont une espérance de vie qui peut dépasser 10 ans. La forme de ces conteneurs leur permet de s'emboîter les uns dans les autres, ce qui diminue l'espace d'entreposage. Malheureusement, ces améliorations ne peuvent pas assurer un changement appréciable de la qualité des plants, étant donné qu'elles restent limitées à une seule étape de la filière de production. Une telle qualité ne peut être atteinte que si l'investissement est global, permettant de transformer les pépinières conventionnelles en pépinières modernes.

I-4- Substrats de croissance utilisés en pépinières :

L'utilisation du substrat non standard est une des contraintes majeures qui affectent la qualité des plants forestiers. En effet, la qualité du substrat est variable au sein de la même pépinière en fonction de l'endroit d'approvisionnement. En milieu forestier, les

sachets de polyéthylène sont remplis généralement avec du terreau forestier, humus bien décomposé, ramassé sous des peuplements ou dans des charbonnières et mélangé avec du sable et parfois avec du fumier. Les proportions et la nature du substrat varient d'une pépinière à l'autre selon la disponibilité des matériaux dans chaque zone. Le terreau est prélevé dans des sites où il y a généralement une accumulation de la matière organique ; son ramassage enlève la couche fertile et occasionne des blessures aux racines des arbres, ce qui diminuera à long terme la productivité de ces peuplements.

L'utilisation de terreau forestier est le plus souvent la source d'agents pathogènes, de nématodes, de virus et de mauvaises herbes, malgré l'introduction bénéfique possible de champignons mycorhiziens. Ce terreau se caractérise par une densité élevée (substrat lourd et compact), faible aération, faible capacité d'échange cationique et faible capacité de rétention en eau. À la fin du cycle de production et en absence de programmes de fertilisation, le statut nutritionnel du plant forestier est

limité par la fertilité du substrat lors de l'empotage, aggravé parfois par l'absence d'un désherbage manuel ou chimique en pépinière au moment opportun. La texture fine et la compaction élevée de ces substrats favorisent souvent une croissance superficielle des racines et empêchent la croissance racinaire homogène à travers toute la motte.

Conclusion :

Pour sauvegarder le patrimoine forestier, des investissements considérables ont été déployés dans les programmes de reboisement, (ex: le barrage vert), les résultats ne sont pas satisfaisants. Les échecs des périmètres de reboisement sont imputables en grande partie à la mauvaise qualité des plants. Dans l'état actuel, la majorité des pépinières ont des contraintes de gestion et utilisent des installations et des techniques de production peu évoluées (sachet, **nature du substrat**, qualité de l'eau, systèmes d'irrigation, structure d'ombrage, absence d'encadrement et de normes). Ces contraintes ont des effets négatifs sur la croissance et la rentabilité des reboisements. Pour rattraper le retard accumulé en matière de reboisement en mettant l'accent sur l'amélioration de la qualité, du taux de survie et de la croissance des plants, l'Algérie pourrait s'inspirer de l'expérience européenne en matière de modernisation des pépinières. L'Algérie pourrait utiliser les résultats des travaux réalisés sur l'amélioration des substrats de culture. Une modernisation complète des pépinières forestières en optant pour l'introduction de nouvelles technologies de production de plants forestiers mettant l'accent sur l'utilisation des, de conteneurs, sur la valorisation des déchets sylvicoles pour produire des substrats standard, sur les mycorhizes. L'utilisation de ces nouvelles technologies de production de plants, peuvent être adaptée aux conditions régionales, ce qui a permis l'obtention de résultats très satisfaisants quant à la qualité des plants, avec des coûts de production très compétitifs par comparaison à ceux des techniques conventionnelles.

**DEUXIEME CHAPITRE : LES ELEMENTS BIOGENES ET QUELQUES
ASPECTS PHYSIOLOGIQUES DE LA
CROISSANCE DES VEGETAUX**

I- LES ELEMENTS BIOGENES

RANGER (1998); a étudié l'impact de la fertilisation sur la croissance d'une plantation de pin laricio de rose (Pinus nigra.AM.SSP) laricio Poiret, et a noté que l'accroissement différentiel démontre une modification de l'architecture des plantes liée à la fertilisation, c'est-à-dire leur nutrition minérale. D'après VIES (in BECKER et LEVY 1983), un déficit dans l'alimentation hydrique des végétaux affecte la valeur nutrition minérale. L'eau joue un rôle important dans le transport des éléments jusqu'aux racines. Pour mieux comprendre la nutrition minérale des végétaux, il apparaît utile de caractériser la composition minérale des végétaux et les rôles des principaux éléments biogènes.

I-1- La composition minérale des végétaux:

D'après HELER et AL (1998), les trois éléments caractéristiques des substances organiques (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.

I-1-1- Les macroéléments:

Ils sont présents à deux taux de l'ordre de quelques "p.mille" à quelques "%" 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%).

I-1-2- Les oligoéléments:

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

Fe ,Mn : 0.01 à 1p.mille.

- Zn, Cu, B:0.01p.mille.- Al, Ni, Co, Mo, J, Br., F : 0.001p.mille; et a des taux très variables mais toujours très faibles.D'autres éléments minéraux présentes dans le sol ou les eaux et qui contaminent les végétaux à leur contact tel que: Li, Pb, Ti, Rb, Cs, Cr, Se, Cd,...., etc.

D'après SMIRNOV et al (1977), tous les macro et oligoéléments ont la même valeur du point de vue physiologique, et qu'aucun élément ne peut être remplacé par un autre, et que chaque élément joue un rôle strictement déterminé dans le développement végétal.

I-2- Rôle des principaux éléments biogènes:

La réserve chimique dépend de la nature chimique du matériaux sur lequel le sol s'est développé (TESSIER et al, 1996) et de la matière organique de celui-ci (CALLOT et al, 1988). Les plants pour assurer leurs fonctions vitales ont besoin d'une richesse chimique, notamment pour leur croissance juvénile (BONNEAU et al, 1997). Les éléments contenus dans les matériaux du sol caractérisent une fertilité à moyen et à long terme (EZZAIM et al, 1997). Pour cela une fertilisation des sols même les plus favorables est jugée positive et bénéfique. Les expériences ont montré que les éléments N, P, K, Ca et Mg sont les plus nécessaires au développement des plants (RANGER, 1998).

I-2-1- L'azote:

L'azote dans le sol et la plante:

D'après LANIER et al (1976); SMIRNOV et al(1977), l'azote est nécessaire pour l'élaboration de nombreux composés organiques des végétaux, tels que les acides aminés, les protéines, les acides nucléiques, les pigments chlorophylliens; certains enzymes et des alcaloïdes. Il est présent essentiellement sous forme de protéines contenant de 15 à 17% d'azote. De son côté DUTHIL (1973), avait noté dans les tissus jeunes les taux d'azote les plus élevés (jusqu'à 5 à 6%) ;(peut être utilisé comme substrat respiratoire surtout à la germination).

Selon JAQUIN et CALLEJA l'azote est un accélérateur de l'humification ayant un rôle sur la production forestière (BENSIDE, 1989).

Cependant, la carence en azote provoque un retard de croissance des organes végétatifs des plantes et l'apparition d'une coloration vert pâle ou même jaunâtre des feuilles et des aiguilles (taille petite), due à la mauvaise formation de la chlorophylle. Quand la quantité d'azote est suffisante, les feuilles sont vert foncé, les plantes forment un puissant appareil de tiges et de feuilles pour l'assimilation (SMIRNOV et al, 1977 ; HELER et al, 1998).

I-2-2- Le phosphore:

Le phosphore dans le sol et la plante:

Cet élément présente souvent un facteur limitant par la suite de sa faible concentration dans les sols (RAMADE, 1984). Avec l'azote, le phosphore constitue les protéines phosphatées. Il joue également un rôle important dans le métabolisme des glucides et dans la synthèse enzymatique (LANIER et al, 1976 et SOLTNER, 1987).

Le phosphore joue un rôle primordial dans la photosynthèse en tant que transporteur d'énergie (in SOLTNER, 1987). Il agit à différents niveaux au cours des processus d'anabolisme et de catabolisme et commande le cycle énergétique.

D'après DEMELON (1961), l'acide phosphorique favorise le développement des systèmes racinaires au début de la croissance, et contribue aussi à augmenter la vigueur des jeunes plants ainsi que leur résistance aux gelées ou à la sécheresse.

I-2-3- Le potassium:

Le potassium dans le sol et la plante:

Le potassium intervient dans la photosynthèse au niveau de la glycogénèse et de la synthèse des protéines, de plus il augmente la pression osmotique favorisant l'absorption de l'eau et protège le végétal contre toutes les formes de flétrissement (LANIER et al, 1976). Il influe sur la résistance des plantes aux intempéries, aux facteurs physiques et aux maladies (SMIRNOV, 1977). Le potassium permet une bonne résistance aux maladies (ALTEN et DOEMRING, 1952 in FRICKER et HUBBERT, 1969). Le potassium joue un rôle dans la résistance à la sécheresse et au gel. Le signe extérieur de la carence en potassium est un brunissement marginal des feuilles; la pointe et les bords des feuilles ont l'air brûlé.

L'apport des fertilisants associant de l'azote, du phosphore et du potassium a donné des résultats positifs sur la croissance et surtout la croissance en hauteur des plants (BONNEAU, 1986, VALETTE, 1996).

I-2-4- Le calcium:

Le calcium dans le sol et la plante:

Le calcium joue un rôle en physiologie cellulaire (antagoniste de K), l'absorption de l'eau et accroît la transpiration. L'évolution de la matière organique est accélérée en présence de calcaire (DUCHAUFFOUR, 1968). Le calcium joue un rôle important dans la photosynthèse et de la circulation des glucides, dans l'assimilation de l'azote par les plantes. Il est indispensable pour la formation des membranes cellulaires, car il détermine l'hydratation et le maintien de la structure des organites cellulaires (LANIER et al 1976; SMIRNOV, 1977). La croissance des résineux peut être satisfaisante pour des valeurs en Ca ne dépassent pas 0.2% dans le sol (DUCHAUFFOUR et BONNEAU, 1960). Les feuillus ont besoin de quantité en Ca

plus importante que les résineux. Un déficit de calcium retentit avant tout sur l'état du système racinaire des plantes: la croissance des racines est ralentie; il ne se forme pas des poils absorbants, les racines deviennent gluantes et pourrissent. Quand le taux de calcium est faible, la croissance des feuilles est aussi retardée, et elles se couvrent de taches chlorotiques, jaunissent et meurent finalement, les travaux de RANGER et Al (1994) ont montré que le chaulage associé ou non à une fertilisation complète (N, P, K) produit un reverdissement et une réfoliation efficace des végétaux.

I-2-5- Le magnésium:

Le magnésium dans le sol et la plante:

Le magnésium est considéré comme le cinquième élément nutritif après N.P.K et Ca.- le magnésium rentre dans la composition de la molécule de chlorophylle.- Le magnésium apparaît comme un élément déterminant de la durée de vie des aiguilles (RAHMANI et al 1998). Joue un rôle dans la multiplication cellulaire. Les jaunissements des aiguilles sont attribués à des carences en Mg. Les carences magnésiennes se manifestent par le jaunissement et la défoliation des aiguilles (BONNEAU et al, 1998, RAHMANI et al, 1998), aussi le déficit en Mg cause le dépérissement (RANGER et Al ,1994). La fertilisation magnésienne et calcique freine le dépérissement (BONNEAU et al, 1998); comme cette fertilisation a un effet aussi important et bénéfique que N, P, K.

II- QUELQUES ASPECTS PHYSIOLOGIQUES DE LA CROISSANCE DES VEGETAUX

Description de la croissance :

II-1- A l'échelle de la plante: La croissance est une modification quantitative, elle suppose, l'accroissement des parties déjà existantes (tige, radicule et première feuilles), ainsi que la néoformation d'organes (organogenèse) qui s'ajoute aux précédents des nouvelles feuilles, ramification des tiges et racines (BINET et BRUNEL, 1969). La croissance des végétaux se caractérise morphologiquement par toute une série de mouvements, dont le quel l'observation d'organes, tel que les racines ou les tiges qui s'allongent, montre qu'il y a déplacement dans l'espace (BELAZREGUE, 1988).

II-2- A l'échelle cellulaire:

Selon LECLERC (1999), la croissance végétative repose sur l'agrandissement et la différenciation cellulaire .elle peut s'exercer dans toute les directions de l'espace ou suivant un seul axe. Cependant, MAZILAK (1982), a indique qu'il existe deux types de croissance intervenant successivement, la croissance primaire et la croissance secondaire, et il les définit comme suit :

II-2-1- La croissance primaire :

C'est une activité méristématique qui produit typiquement une croissance en longueur.

A partir des méristèmes apicaux (méristèmes racinaires et méristèmes caulinaires), ou se produisent la multiplication cellulaire, il engendrent les masses cellulaires utilisées pour la construction de l'ensemble des organes:ils sont organogènes.

II-2-2- La croissance secondaire:

Lorsque la croissance primaire a cesse, une croissance secondaire entre en jeu, c'est une croissance en épaisseur, qui résulte de l'activité des méristèmes

secondaires : les cambiums ou zones génératrices, ou les cellules divisent avec une orientation régulièrement pericline et leurs dérivés se différencient directement en tissu; ils sont histogènes.

II-3- Corrélation morphologique entre système racinaire et système aérien:

Selon MAZILAK (1982), les systèmes racinaires influent fortement sur le système aérien, du fait qu'ils reçoivent l'eau et les éléments minéraux des litières; il pourra constituer un organe de réserve. Cependant, les produits photosynthétiques et les vitamines nécessaires au métabolisme racinaire sont fournis par l'appareil aérien. Toutefois, la corrélation n'est pas toujours positive vu la compétition qui existe entre les deux appareils pour les aliments du milieu ou les produits élaborés (MAZILAK, 1982). Ceci est confirmé par les travaux de CHABA (1983) sur le pin d'Alep, où il est établi une relation entre la croissance aérienne et souterraine. L'auteur a remarqué qu'il existe un antagonisme qui se caractérise par une diminution ou un arrêt de la croissance d'une partie de la plante lorsque l'autre est en pleine croissance.

II-4- Le système racinaire:

II-4-1- Définition et rôle:

Le système racinaire d'un plant, est sa partie souterraine qui lui assure trois principaux rôles: sa fixation mécanique au sol, l'absorption d'eau et d'éléments biogènes nécessaires à sa nutrition et le stockage de réserves.

II-4-2- Rôle du système racinaire:

II-4-2-1- Respiration:

La respiration conditionne toutes les autres fonctions. L'approvisionnement en oxygène ne se fait pas à travers la partie aérienne, mais par absorption directe dans l'air contenu dans la porosité du sol. En dessous de 15% d'oxygène, l'absorption minérale décroît. En dessous de 12%, il n'y a plus d'initiation de nouvelles racines. En dessous de 5%, il n'y a plus de croissance racinaire. En dessous de 1% les racines perdent du poids et meurent (RAIMBAULT ; 2003).

II-4-2-2- Absorption et mycorhizes:

La racine étend sa zone d'exploration par croissance, mais surtout grâce aux champignons mycorhiziens qui multiplient par cent, voire par mille la surface d'échange avec le sol. Le champignon se nourrit des hydrates de carbone fournis par la racine, et lui apporte en retour eau et sels minéraux. La mycorhization est efficace surtout en sols pauvres et secs, elle peut être inhibée ou détruite par excès de fertilisation.

II-4-2-3- Excrétion:

La racine excrète des ions H^+ , OH^- , K^+ , Na^+ , selon la nature et la quantité des ions absorbés, afin de conserver son équilibre électrochimique. Ainsi, une fertilisation

azotée sous forme de nitrates NO_3 augmente le pH du sol tandis qu'une fertilisation sous forme d'ion ammonium NH_4^+ l'acidifie. La racine excrète également diverses substances organiques, généralement des acides. Elle a donc une influence sur le pH et souvent sur la structure du sol.

II-4-2-4- Synthèses:

Chez la majorité des arbres, l'azote n'est massivement envoyée sous forme minérale dans la partie aérienne que si la fertilisation et l'absorption sont excessives; en condition normales, c'est la racine qui synthétise une grande partie des acides amine que les feuilles utiliseront dans la synthèse des protéines. Les apex des racines en croissance sont avec les graines le lieu de synthèse des cytokinines. Ces substances de croissance, complémentaires ou antagonistes des auxines synthétisées par les apex de tige en croissance, sont le véritable moteur de la morphogenèse des tiges.

II-4-2-5- Mise ne réserves:

Les produits de la photosynthèse sont stockés, principalement sous forme d'amidon, dans les parties pérennes de l'arbre, en particulier la base du tronc, la souche et la base des grosses racines. Ces réserves peuvent être hydrolysées pour être utilisées dans la croissance aérienne et racinaire, ou transformées en polyphénols, barrières chimiques contre les insectes et champignons agresseurs. Le système racinaire ne sert pas qu'à alimenter la plante en eau et à la fixer dans le sol; il apparaît comme la moitié complémentaire de la partie aérienne dans toutes les fonctions de la plante.

II-4-2-6- Racines et ancrage:

La stabilité de l'arbre ne dépend pas seulement de l'extension des racines, mais aussi de la densité de colonisation et de la cohésion entre sol et racines. En cas de tempête, les racines s'extirpent des sols peu cohérents, tels que les sables et les sols gorgés d'eau: l'arbre est arraché même si l'extension racinaire est importante. Par contre, si la cohésion entre le sol et les racines est forte, la stabilité de l'arbre dépend de l'ensemble racines plus sol, et la masse à soulever est alors de plusieurs dizaines de tonnes. C'est le cas des sols rocheux fissurés bien colonisés.

II-5- Constituants du système racinaire:

Selon TAKAVOL, (1979), in CHABA, (1983), la racine du pin d'Alep contient 4 zones différentes.

La première zone s'étend de l'extrémité de la coiffe jusqu'à la première racine latérale, la deuxième zone, située juste après la première, elle porte des racines latérales qui sont en croissance très active, la troisième zone, elle vient juste après la deuxième, elle porte des racines latérales dont l'allongement a cessé et en fin la

quatrième zone, elle s'étend du collet jusqu'à la troisième, sa longueur augmente avec l'allongement du pivot.

II-6- Description de la croissance du système racinaire:

L'accroissement du système racinaire dépend du nombre d'extrémités racinaires en activités, de la vitesse d'allongement des racines et de la vitesse de croissance en épaisseur.

D'autres caractéristiques s'ajoutent aux précédentes dont ; la direction de croissance ainsi que le lieu et le moment d'apparition de diverses ramifications. On a deux approches possibles ; l'influence de divers paramètres du milieu extérieur sur la morphogénèse et l'effet des diverses parties d'une plante, les unes sur les autres, mais les deux approches ne sont pas fondamentalement différentes car, les facteurs du milieu extérieur peuvent affecter certaines parties de la plante en modifiant indirectement la morphogénèse.

A- Croissance en longueur:

Cette croissance s'opère au niveau des méristèmes apicaux, localisés à l'extrémité de la racine, qui sont protégés par la coiffe, qui est selon (ROLAND, 1980) une sorte de capuchon recouvrant l'extrémité de la racine, jouant ainsi un rôle protecteur, et favorise la pénétration de l'apex entre les particules du sol.

B- Croissance en épaisseur:

L'augmentation du diamètre d'une racine se réalise grâce au fonctionnement de méristèmes secondaires se présentant sous forme d'assises génératrices annulaires:

- assise génératrice libéro-ligneuse ou cambium
- assise aubéro-phellodermique ou phellogène (BINET et al, 1969).

II-7- Direction de croissance des racines:

Cette direction peut être déterminée par plusieurs facteurs externes (pesanteur, humidité, richesse minérale, aération, lumière...), elle est alors le résultat de géotropisme, hygrotropisme, chimiotropisme, aérotrropisme, et du phototropisme. Elle peut également résulter de la variation provoquée par des obstacles placés sur le chemin, dans ce cas on dit que l'orientation résulte de l'autotropisme (TAVAKOL, 1979). Il convient donc d'essayer d'expliquer les termes que nous venons de citer.

A- Tropisme: accroissement d'un végétal dans une direction donnée sous l'influence d'une excitation extérieure, et selon (MAZLIAK, 1982) le tropisme est une réponse de croissance qui est dirigée par rapport à la stimulation.

B- Géotropisme: orientation des racines dans le sens de la gravité.

II-1- Facteurs de croissance agissant sur la morphogénèse:

L'aboutissement à une quelconque forme du système racinaire est le résultat de la multiplication et la répartition spatiale des cellules, qui est généralement organisée et génétiquement fixe. Cependant cette morphologie peut souvent être influencée et

dictée par certains facteurs environnants. (RIEDACKER, 1976) a synthétisé cette influence sous la formule suivante:

$$V = \text{Somme } V_i = \text{Somme all} / t = n \cdot v$$

V : vitesse d'allongement du système racinaire

n : nombre des extrémités racinaires

v : vitesse moyenne d'allongement des extrémités racinaire

V_i : vitesse d'allongement de la racine n_i

all : somme des allongements des extrémités racinaires

t : temps

A cette formule (TAVAKOL.R, 1979) ajoute:

-la direction de croissance

-le tropisme des diverses extrémités racinaires

-le lieu et le moment d'apparition des divers ramificateurs.

II-2- Etude du déterminisme de l'allongement des racines:

Plusieurs facteurs, qu'ils soient externes ou internes agissent d'une manière ou d'une autre sur l'allongement des racines.

II-2-1- Détermination exogène:

L'effet de la température sur la croissance varie en fonction de l'espèce, le zéro de croissance allant de 4 à 5° pour le prunier (prunus) à 16-18° pour l'oranger (citrus). Dans les zones froides, il faut planter les espèces exigeantes en chaleur très tard en avril, mai, voire juin. Les travaux effectués par plusieurs auteurs ont pu déterminer l'allongement racinaire en fonction de la température et ont pu déterminer ensuite des seuils (2-4°C) qui étaient au dessous de ceux des parties aériennes (RIEDACKER, 1976) tableau 01.

Essence	Seuils thermiques apparents	
	De la végétation aérienne	De la végétation souterraine
Picea abies	4,1°C	2-4°C
Abies alba	5,2°C	2-4°C
Acer saccharinum	supérieur à 5°C	2-3°C

Tableau (01): Action de la température sur les appareils (source RIEDACKER, 1976).

Selon (KOZELNIKOV ,1971 in BELAZREUE, 1988), la croissance des racines horizontales de certains pins, ne commence que lorsque la température du sol dépasse 5°C. Tandis que celle des racines verticales débute à plus de 0.1°C. Et selon (CHABA,

1983) les températures du sol influent sur la vitesse d'allongement des racines, mais pas sur le nombre des racines en croissance.

A- Action de la teneur en eau:

Une baisse de l'humidité du sol, même passagère, près du point de flétrissement, suffit pour arrêter la croissance de façon durable et orienter la morphogenèse racinaire vers la croissance secondaire (en épaisseur) .il faut donc maintenir un taux d'humidité suffisant pendant les années suivant la plantation pour favoriser l'extension des racines.

RIEDACKER (1976), a démontré qu'il existe un seuil de la teneur en eau du sol, duquel dépend l'allongement racinaire (30-40%) de la capacité au champ. Selon VARTANIAN (1967) ; ce sont des racines latérales qui vont se développer au dépend du pivot si l'eau est facilement, et que le pivot se développe, qu'en conditions hydriques moyennes.

B- Action de la teneur en oxygène du milieu racinaire:

Le diamètre des nouvelles racines est déterminé dès leur initiation. Il semble dépendre de l'approvisionnement en oxygène et en glucides des méristèmes qui leur donnent naissance.La croissance racinaire des jeunes plants diminue avec la diminution de la teneur du milieu en oxygène.

C- La teneur en éléments nutritifs:

La carence comme l'excès en azote ralentissent la croissance racinaire .le phosphore et le potassium favorisent la division racinaire.

D- Action des caractéristiques physiques du sol:

La texture et la structure du sol interviennent également dans la croissance des végétaux. En sol sableux, les racines sont rectilignes et se ramifient peu. En sol argileux, elles sont sinueuses et ramifiées. L'humidité, la matière organique et notamment la tourbe sont des facteurs de ramification intense. La croissance racinaire est stoppée dans l'air (absence des particules de sol): les sols lacuneux sont défavorables à la croissance racinaire. Une légère compaction par tassement puis par arrosage est nécessaire à la plantation. Les travaux effectués par plusieurs auteurs ont pu déterminer l'allongement racinaire en fonction de la température et ont pu déterminer ensuite des seuils (2-4°C) qui étaient au dessous de ceux des parties aériennes (RIEDACKER, 1976) tableau 02.

II-2-2- Déterminisme Endogène

A- Rôle des feuilles: Une diminution de l'intensité de l'éclairement provoque, une douzaine d'heures plus tard un ralentissement très marqué de la croissance racinaire. Et pour mettre en évidence, l'intérêt des feuilles dans la croissance des racines, il suffit d'effeuiller les tiges et d'utiliser les plantes dont la croissance racinaire est indépendante de la photosynthèse. dans ce cas l'allongement des racines est stoppé presque immédiatement. (OZENDA, 1974).

B- Rôle des bourgeons:

Selon (RICHARDSON 1958 in BELAZREGUE 1988) l'allongement des racines de jeunes plants s'arrête au printemps, à la suite d'une ablation des bourgeons. cela se traduit par l'indispensabilité des bourgeons pour l'allongement racinaire durant cette période. Si on, supprime les bourgeons, et notamment le point végétatif principal en croissance, on stoppe immédiatement les néoformations, mais l'allongement des racines présentes se poursuit à vitesse normale.

II-3- Effet de la section du pivot des semis sur la morphogénèse:

D'après les travaux qu'a menée TAVAKOL (1979) sur les semis de chêne pédoncule et après la section des pivots; il y a apparition de nouveaux pivots de remplacement, qui s'allongent très rapidement que les pivots normaux.

II-4- Comportement des racines en conteneurs:

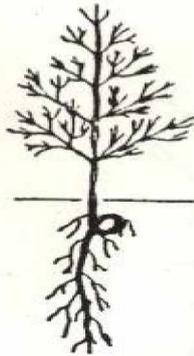
Lorsque les plants sont élevés, dans des conteneurs ronds, les racines latérales peuvent se spiralisées autour du pivot et compromettre leur devenir .

II-4-1- Déformations racinaires:

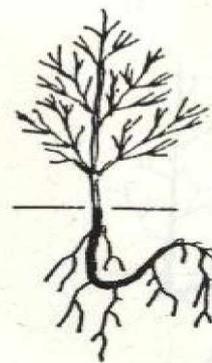
Les questions posées par les déformations racinaires sont très anciennes, et malgré tous les travaux importants qui leur ont été consacrés, les conséquences exactes des déformations sur la productivité d'un arbre et d'une forêt sont très mal connues. L'utilisation du sachet de polyéthylène favorise toujours les déformations racinaires, faute de parois rigides et de rainures pour diriger et orienter les racines en cours de croissance, ce qui leur permet de percer le sachet et de s'enrouler. Cet enroulement, connu sous le vocable « chignon », est favorisé aussi par le substrat extrêmement compact dans lequel l'impédance mécanique et l'oxygène sont parmi les facteurs qui limitent la croissance des racines. Lors de l'enlèvement des plants des planches (lieu d'entreposage des sachets), les racines d'un même plant peuvent se développer et pénétrer par les trous perforés dans plusieurs sachets. L'individualisation de ces plants leur fait perdre les racines blanches nécessaires à l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs, surtout durant la phase d'installation en site de reboisement. Le manque de rigidité chez le sachet ne peut conférer aux racines une bonne protection contre les différents chocs lors de la manutention des plants. Les déformations racinaires entravent la translocation des produits de la photosynthèse indispensables à la croissance de nouvelles racines. Le recours au

repiquage pour augmenter le taux d'occupation des sachets, à un stade de croissance avancé des plants, accentue la présence des déformations racinaires qui deviennent irréversibles, surtout après lignification, à cause de l'absence de rainures et d'un système de cernage des racines . La présence de telles déformations peut affecter la stabilité des arbres et les rendre plus susceptibles aux différents stress environnementaux, même à un âge avancé. Donc tout simplement, on peut résumer ces déformations en (figure 01).

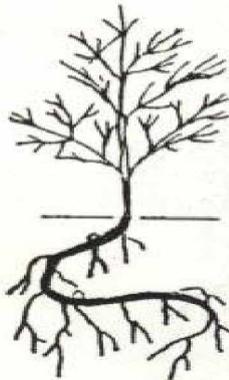
Résineux :
Défauts rédhibitoires de la racine principale



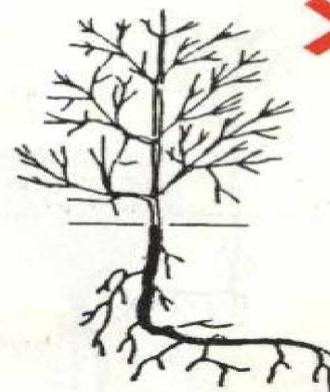
Racine en "cor de chasse"



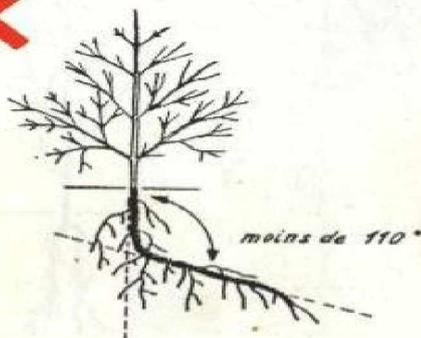
en "j"



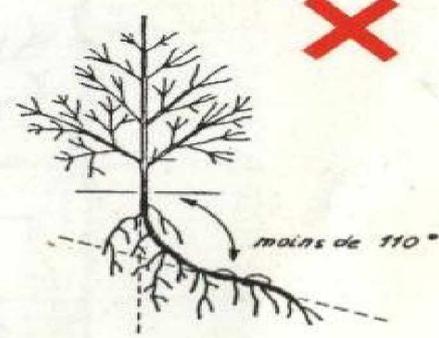
en "S"



en "L"



moins de 110°



moins de 110°

...et plus généralement, racine principale formant un angle égal ou inférieur à 110° avec la tige.

Plants refusés.

X Plants refusés

Figure n° 01: Défauts rédhibitoires de la racine principale source, Office national des forêts, 1990

II-4-2- Déformation en crosse:

La crosse est une courbure générale de l'enracinement le plus souvent simple. La déformation en "crosse" est toujours due à la méthode de repiquage, ou de plantation. (ANONYME 1974).le coude de l'enracinement ralenti la circulation de la sève, les radicelles cessent de croître au delà de la crosse.

II--3- Déformation en chignon:

On appelle "chignon"la spiralisation d'une ou plusieurs racines autour de la souche .les racines s'étranglent mutuellement quand elles grossissent et constituent un véritable nœud de racines d'où s'échappent que quelques maigres radicelles. Le chignon n'apparaît pratiquement que sur les plants élevés dans certains pots; godets ou sachets .dans ceux-ci les radicelles se dirigent vers la paroi, en décrivant une spirale, au fond on trouve un enroulement de fines racines qui constituent l'amorce du chignon (ANONYME 1974).

Introduction et généralités:

En tant que support de la plante, tout matériau solide peut éventuellement être utilisé comme substrat dans la mesure où il est compatible avec un développement normal du système racinaire (BLANC, 1987). En effet RIVIER in BOUKHELOUA, 1982 considère qu'un substrat doit receler les éléments nécessaires à la croissance de la plante (air, eau et éléments minéraux) en proportions équilibrées.

Cependant, les fluides tels que l'air et l'eau en particulier dépendent des qualités physiques du substrat. Aussi, dans le cas des substrats peu stables dans le temps, c'est-à-dire ceux qui subissent des variations physiques, cette propriété aurait une incidence sur l'alimentation et l'apport en oxygène. A titre d'exemple, MOINREAU et al (1987) rapportent que la tourbe blonde peut avoir un comportement correct au début de culture et constitue en suite un milieu asphyxiant très défavorable aux racines. Ainsi, il ressort que le comportement physique d'un substrat est plus important que sa composition chimique BOUKHELOUA, (1982) et GUILBERT (1996).

Les constituants d'un substrat de culture :

I-1- Définition et généralité :

Selon (BLANC, 1987) le terme substrat s'applique à tous matériaux naturels ou artificiels qui, placé en conteneurs, pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi ; vis-à-vis de la plante, le rôle de support; dont le quel les plantes vont puiser les éléments. Ce substrat doit être de ce fait perméable, aéré et stable (PIVOT et REIST, 1984). Certains substrats, dit, enrichis, contribuent à l'alimentation hydrique et minérale des plantes. Il peut être constitué d'un seul matériel ou d'un mélange de matériaux ; matériel organique, minéral (sable, gravier).

La nature du substrat joue également un rôle important dans le développement du système racinaire et la physiologie du plant. Les plants de qualité sont actuellement produits sur un mélange tourbe à longue fibre (50%), écorce de pins compostée (50%) (ARGILLIER, FLACONNET, MOUSAIN et GUEHL, 1994).

I-2- Matériel organique:

La matière organique est le fruit de l'activité biologique tant animale que végétale du sol. Elle est constituée d'un ensemble de substances, essentiellement caractérisées de manière qualitative par leur nature chimique (MUSY et al, 1996).

I-3- Effet de la matière organique:

La matière organique contribue à faciliter l'obtention d'un état structural stable. par conséquent une meilleure porosité, perméabilité, aération et un meilleur réchauffement du sol (MUSTIN, 1987). La décomposition et la minéralisation des

composés organiques (résidus de récolte, résidus urbains, humus,...), constituent le stade final de

l'évolution de tous les produits. Durant ce processus, des composés intermédiaires utiles sont formés (ROSEL et al, 1998). La matière organique sous l'action des micro-organismes du sol libère des éléments minéraux qui sont indispensables au développement des plants. De cela l'amendement organique constitue une réserve d'éléments nutritifs en particulier l'azote (BAIZE et JABIOL, 1995). Les résidus de la décomposition de la matière organique fraîche (humus), possède des propriétés colloïdales et joue un rôle analogue à celui des minéraux argileux (MUSY et al, 1996).

Elle est une source de nourriture à la faune et la flore (MUSTIN, 1987). Les éléments fertilisants provoquent des changements dans la composition floristique (TIMBAL et al, 1998). La matière organique joue un rôle dans l'économie d'eau, car la capacité de rétention en eau est liée à la teneur en matière organique (un gel humique peut retenir 15 fois son volume en eau) (DUTHIL, 1973). Le sol utilisé en pépinière (culture hors sol) doit être suffisamment riche en matière organique.

I-3-1- Différents types de substrats culturaux:

D'après PIVOT et REIST (1984), CHEVALIER (1985) et GARBAYE (1986), on utilise comme substrat culturel des matériaux d'origine minérale, laine de roche, de l'argile ou des roches volcaniques expansées. Ces matériaux permettent l'ancrage de la plante et peuvent être réutilisés plusieurs fois. Comme autres matériaux, nous employons des matériaux organiques, des dérivés cellulosiques, des tourbes et des écorces de bois.

I-3-2- Source en matière organique:

Pour augmenter le taux de la matière organique, on pourra apporter au sol du fumier parfaitement décomposé ou un compost bien fait. Toutes les sortes de déchets organiques peuvent servir à la préparation d'un compost: couverture morte (litière), paille, humus brut, tourbe, écorce.

I-3-2-1- Les tourbes:

Elles sont des matériaux organiques naturels provenant des anciens marais, qui se contentent aujourd'hui pour sa survie des précipitations. Selon BLANC, (1987), les tourbes sont des matériaux d'origine végétales essentiellement organiques, plus ou moins humifiés, ne renfermant pas de contamination minérales (moins de 10%) (Matière organique issue d'une décomposition incomplète des substances d'origine végétale par des microorganismes anaérobies du sol. Les sols tourbeux peuvent présenter une teneur en matière organique supérieur à 50-60% (MUSY et al, 1996). En France les tourbes interviennent dans la grande majorité des mélanges testés, avec des proportions importantes 50% à 90% (RIVIERE, 1980 in AZZI, 1997). Le

substrat tourbeux représente un progrès essentiel en ce qui concerne les sols réservés à l'horticulture. Des essais précis comme aussi des expériences pratiques, le démontrent (PENNINGSFELD et KURZMANN, 1969). Bien entendu, il faut pour la préparation du substrat, utiliser des tourbes convenables; la tourbe a des propriétés variables selon un mode de formation, son lieu d'origine et son type d'extraction. Comme matériau de base pour la culture, on ne devrait employer que la tourbe blonde et peu décomposée du fait qu'elle possède les meilleures caractéristiques physiques. Pour le pépiniériste, la production sur tourbe est intéressante à plus d'un titre: production en un ou en deux ans seulement, faible prix de revient, et facilité de l'arrachage, système racinaire développé (GARBAYE et al, 1983). En ce qui concerne les avantages qu'elle offre, la tourbe blonde peu décomposée possède une bonne porosité et emmagasine ainsi remarquablement bien les matières nutritives tout en assurant aux racines une excellente aération; sa structure très aérée permet le développement d'un système racinaire dense et cohérent. (PENNINGSFELD et KURZMANN, 1969).

Toutefois, les recherches récentes rapportent que la tourbe blonde présente, l'inconvénient d'un milieu asphyxiant en fin de culture, après un bon comportement au début de culture (MOINREAU et al, 1987). Ainsi pour FOURNIER (in MOINREAU et al, 1987), les tourbes fines ou humifiées blondes ou brunes, conviennent mieux pour des mélanges à base de gravier poreux et de sable, si leur proportion reste inférieure à 50 %, ces tourbes ne contiennent aucun germe pathogène et ne nécessitent pas une stérilisation avant emploi; elles ne renferment pratiquement aucune matière nutritive facilement disponible et peuvent être selon leur nature physico-chimique, fertilisées par des solutions nutritives (GARBAYE, 1986).

D'un autre côté, les matières organiques actives autres que les acides humiques les hormones et l'acide bêta-indole-acétique contenues dans la tourbe favorisent le développement des systèmes racinaires et des fleurs. Après une humidification et fertilisation appropriées, la tourbe est immédiatement utilisable sans être préalablement compostée (PENNINGSFELD, et KURZMANN, 1969). à cet effet, plusieurs travaux ont été réalisés dans le but de caractériser le comportement des végétaux sur des tourbes ainsi fertilisées. GARBAYE et al, 1983 ; et GARBAYE (1986) ont révélé l'effet bénéfique des tourbes en tant que substrat de culture pour l'élevage des jeunes plants en pépinières et même après la plantation.

I-2-3-1-1- Caractéristiques des tourbes:

pH faible (3.5-4), la disponibilité en eau; d'après PETER, (1973) cite par BLANC, (1987) ,100g de tourbe sèche peu décomposée absorbe 100 à 150 g d'eau c'est-à-dire de 10 à 15 fois plus de son poids, aération difficile, faible résistance mécanique et enfin l'utilisation des tourbes au niveau national est coûteuse.

A- Tourbe blanche:

Elles ont un bon pouvoir de rétention en eau et en air du fait de sa nature fibreuse, et elles présentent une grande stabilité structurale (colmatage lent); du fait de sa minéralisation lente et son PH qui est relativement bas.

B- Tourbes noires:

Il s'agit des tourbes plus âgées que les précédentes. Elle a une forte rétention en eau.

I-2-3-2- Les écorces:

Etant donné les difficultés d'approvisionnement en tourbe, il est nécessaire de chercher des produits organiques dont les ressources sont suffisantes. L'emploi des écorces est fréquent dans le monde, l'écorce peut être mise en oeuvre à l'état frais après broyage et tamisages ou compostée avec d'autres sous produit d'industrie (BLANC, 1987).

A cet égard, l'écorce joue un grand rôle dans la confection des mélanges binaires (LEMAIRE et al, 1989), ou l'un des constituants joue le rôle de rétenteur d'eau, et l'autre

celui du système d'aérateur. Les tests réalisés par RIVIERE, LEMAIR et al, (1989) in NACEUR (1996), sur le comportement de mélange binaire en employant des tourbes blondes, des tourbes noires et des écorces. Il est noté un risque d'observer une interaction forte et limitée dans les mélanges contrairement à des mélanges des tourbes et de matériaux granulaires de faible porosité. Ainsi, l'écorce de pin est un substrat léger densité inférieure à 400 kg/m³ à l'état humide, très poreux, aérée mais il présente néanmoins une faible rétention en eau (MOINREAU et al, 1987). En effet l'écorce est un produit organique instable dont la durabilité est limitée de 4 à 8 cultures ZUANG (in MOINREAU et al, 1987). De ce fait, l'écorce de pin présente une composition chimique très variable liée à l'origine de l'écorce.

Il faut note que certains écorces peuvent contenir des quantités importantes de manganèse facilement réductible, donc assimilable (205mg/kg). Les autres oligo-éléments, bien que présents à des teneurs non négligeables, sont complexes sous forme de chélates organo-minéraux, donc peut assimilables (Blanc, 1987). Le rapport (C/N) est très élevé (entre 100 et 200) ce qui constitue un inconvénient majeur pour les écorces fraîches, qui en se décomposant consomment beaucoup d'azote au détriment de la plante (MULLER, 1971 in DUTHIL 1973).

I-2-3-2-1- Propriétés essentielles :

L'écorce est un substrat léger, très poreux, aéré mais à faible rétention d'eau (BLANC, 1987). Le pH dans l'eau est compris entre 4 et 5.5, ce qui peut nécessiter une neutralisation avant culture (VESCHAMBRE et al, in BLANC ,1987). L'écorce est

un produit organique instable dont la durabilité est limitée de 4 à 8 cultures (ZUANG in MOINREAU et al ,1987).

Des essais de stabilité effectués par LEMAIRE et al (1989), pendant huit mois, à humidité et température constantes (75% de la capacité en eau, 20°C et 40°C) sur des écorces fraîches de différentes provenances en présence d'eau pure et de solution nutritive ; Ont montre une modification de la granulométrie du matériau et un abaissement rapide du C/N au cours de la décomposition comme pour tous les composts, cette évolution entraîne généralement une réduction de la porosité pour l'air et un accroissement de la rétention d'eau (augmentation du % des particules fines, suite à une activité microbienne).

I-2-3-2-2- Vitesse de décomposition:

La vitesse de décomposition varie avec les espèces et la dureté du bois n'intervient pas puisque les sciures de bois durs (chêne, peuplier, châtaignier, noyer); se décomposent 6 fois plus vite que les sciures de bois tendre (cèdre, pin, sapin, épicéa); de même les écorces de bois durs se décomposent 3 fois plus vite que les écorces de bois tendres (ALLISSON et al 1962, in BLANC 1987). Dans les mélanges binaires à 80% d'écorce en volume, après 60 jours de culture, le volume apparent diminue de 16% à 25% de la valeur initiale avec la terre et de 3.8% seulement avec le sable (NASH et HEGWOOD in BLANC ,1987).

I-2-3-3- Déchets cellulo-ligneux:

D'après MOINREAU et al (1987), de nombreux sous –produits agricoles et industriels autres que les écorces peuvent servir à la fabrication des substrats de mélange, c'est le cas des déchets cellulo-ligneux; ces composés se caractérisaient par leur faible densité apparente et donc une porosité élevée à l'état frais. Ce sont des matériaux très aérés, et de faible rétention en eau. Ces mêmes auteurs signalent que la rétention en eau peut augmenter considérablement après décomposition mais le milieu devient asphyxiant sous l'effet du moindre tassement. Parmi les déchets cellulo-ligneux, nous pouvons citer par exemple: les sciures, les broussailles et les bois d'élagage , les déchets de liège, les mares de raisin, les pailles, les résidus de lignites et les fibres cellulosiques.

I-2-3-4- Les sciures de bois:

En France, elles sont souvent utilisées comme intermédiaire de carbone pour assurer une bonne fermentation des produits à haute teneur en azote tel que les déchets de l'élevage (RIVIERE, 1980 in AZZI ,1997). Même si les sciures compostées à d'autre produits organiques ou minéraux donnent des substrats de bonne qualité (BLANC, 1987) notamment pour la culture hors sol; elles présentent certains inconvénients ; L'hétérogénéité de la composition, en cas de contamination

la désinfection sera difficile (BLANC, 1987) et avec le temps le substrat se tasse ce qui induit à un manque d'aération (DUTHIL, 1973).

I-2-3-5- Le compost-urbain:

Il est de qualités très variables selon l'origine et la composition des déchets ménagères. D'après RENEAUME (1981) in BLANC (1987), l'utilisation du compost urbain peut représenter des inconvénients d'une salinité importante et une exubérance des métaux lourds.

I-2-3-6- Les tourteaux:

Ce sont des résidus de la fabrication des huiles (olive, colza, arachide, soja). On les utilise encore comme engrais azote dans les terres légères et perméables.

I-2-3-7- Marc de raisin:

Résidus de la vinification est composé de la pulpe et la grappe.

I-2-3-8- Fumier de ferme:

Un mélange d'excréments et de paille fermentée, sa composition et sa valeur fertilisante dépendent de l'espèce animale. Malgré sa teneur insuffisante en éléments minéraux, le fumier de ferme est une source précieuse d'humus.

I-3- Matériaux minéraux:

ANSTIET (in BOUKHELOUA, 1982) ANDRE (1987), CROZON et NEYROUD (1990) classent ce type de matériaux dans la catégorie des substrats physico-chimiques inactifs, n'interviennent pas dans l'approvisionnement minéral du plant, Ces matériaux présentent, selon CROZON et NEYROUD (1990), l'avantage d'avoir une stabilité structurale plus ou moins inaltérable (contribuent à l'amélioration de la structure), et une perméabilité élevée. Parmi ces matériaux on a les matériaux naturels et les matériaux synthétiques: les argiles expansées (MUSTIN, 1987; ARGILER et L, 1994).

I-3-1- Matériaux naturels:

Ce sont des matériaux qui ne subissent aucune dégradation et sont chimiquement neutres. Ils sont utilisés comme aérateur afin de donner une bonne structure au substrat. Le sable est le plus souvent utilisé en Algérie; en France le sable et le pouzzolane (ARGILLIER et al, 1994). Le sable est une matière minérale, pulvérulente composée d'ensemble de particules généralement fines (de 0.002 à 2mm de diamètre), provenant de la désagrégation des roches siliceuses ou calcaires, ayant la même composition que les minéraux qui constituent la roche mère. Le sable et le gravier, non calcaires, ont une grande inertie chimique et sont utilisés fréquemment en culture hydroponique (HABBEN, 1974), car leur solubilité et leur capacité d'échange sont très faibles, inférieurs à 5meq/100g de produit sec. La pouzzolane est une roche volcanique, rougeâtre, que l'on rencontre près du pouzzolane, en Italie et en France dans le plateau central. Elle offre pour les cultures

hors sol les avantages d'un milieu très aéré de grande stabilité et durabilité, chimiquement inerte initialement exempt de germes pathogènes et ultérieurement facile à désinfecter (MOINREAU et al, 1987).

I-3-2- Les matériaux expansés:

Ce sont les matériaux naturels qu'ont subi un traitement par la chaleur (BOUKHELOUA, 1982) et CROZON et NEYROUD, (1990) on distingue ;La perlite, la vermiculite, l'argile expansée et la laine de roche.

I-4- Propriétés physiques, chimiques et physico-chimiques du substrat:

Dans l'état actuel de connaissances et des pratiques culturelles, le choix de supports de culture privilégie, leurs caractéristiques physiques: rétention en eau, disponibilité en eau, teneur en air, pouvoir de réhumectation. Donc; un substrat doit être un milieu hétérogène et comporte selon LEMAIRE et al (1989), trois phases (solide, liquide, gazeuse).

La phase solide: cette phase assure le maintien mécanique du système racinaire et la stabilité du végétal, la phase liquide assure l'approvisionnement de la plante en eau et en éléments nutritifs et la phase gazeuse assure les transferts d'oxygène et le dioxyde de carbone (CO₂) au cours de la respiration racinaire.

Il faut tenir compte de ces phases, afin d'avoir une idée sur la qualité du substrat; et pour en connaître plus sur ces trois phases, on doit traiter les propriétés physiques, chimiques et physico-chimiques du substrat.

I-4-1- Principales qualités physiques requise pour un substrat:

Les propriétés physiques jouent un rôle primordial dans l'alimentation des plants, et le fonctionnement du système racinaire au point de vue aération. Pour étudier les propriétés physiques d'un substrat, il est nécessaire d'interpeller les deux notions fondamentales ; la texture et la structure.

I-4-1-1- La texture:

Elle représente, l'ensemble des propriétés, qui résultent de la taille des constituants (PREVOST, 1990). La texture traduit la distribution dimensionnelle des particules et se rapporte habituellement aux éléments fonctionnellement les plus actifs, que l'on situe au dessous d'une dimension inférieure à 2mm. Cette notion permet d'apprécier les propriétés d'u substrat à partir de la proportion des différentes fractions granulométriques.

I-4-1-1-1-Propriétés des différentes particules granulométriques:

Les éléments sableux et limoneux proviennent de la dégradation de la roche mère et possèdent donc la même nature que les minéraux de la roche. Les sables et les limons constituent le "squelette" du sol. L'aération, le réchauffement du sol sont les garants d'une meilleure circulation de l'air. Les limons du fait de leur taille plus fine, peuvent être néfaste lorsqu'ils dominent car le sol a alors tendance à se tasser sous

l'effet des pluies (on dit que le sol est battant, formation d'une croûte en surface). Les éléments argileux: l'argile provient de l'altération chimique de la roche mère. L'argile est de la taille inférieure à 2 microns, possède les propriétés d'un colloïde électronégatif et sa floculation résultera donc de l'apport de charges électriques positives sous forme d'ions positifs (cations) dit flocculants. L'argile a un rôle essentielle dans le sol puisque à l'état floccule, elle enrobe les particules de sable et de limon, donnant ainsi une structure au sol. La capacité d'échange cationique varie selon le type de l'argile (TOUTAIN, 1987).

La teneur en matière organique est en étroite relation avec la texture du sol (BAIZE, 1990). Les sols à texture fine sont plus riches en matière organique que les sols à texture grossière.

I-4-1-2- La structure:

La structure est une notion plus importante dans la pratique, car elle conditionne la circulation de l'air, celle de l'eau et l'enracinement (CALLOT in BAIZE et al, 1995). Elle est le mode d'assemblage des particules élémentaires: sable, limon, argile, matière organique entre elles; en formant ou non des volumes élémentaires macroscopiques appelés agrégats (BAIZE et JABIOL, 1995). Ainsi; la structure se forme grâce à la floculation des colloïdes qui se fixent à la surface des éléments grossiers et les relient (PREVOST, 1990). À côté de sa; sa formation, son évolution dépendent de la dynamique des populations de bactéries, champignons (activité biologique). Les conséquences de la structuration des sols sont multiples: L'arrangement des particules influe sur la forme, la dimension et la distribution des vides, et en conséquence sur les propriétés de transfert. Le mode et la force de liaison entre les particules ont des conséquences sur les propriétés mécaniques, en particulier sur leur résistance à la pénétration (des racines). En effet, la structuration a une importance considérable pour la croissance des plants et ce par l'intermédiaire de quatre propriétés fortement liées entre elles: ressuyage naturel, rétention en eau, aération et distribution de l'enracinement (BAIZE et JABIOL, 1995). De ce fait le substrat doit; être perméable, conserver sa structure dans le temps et avoir une bonne rétention en eau.

I-4-1-3- La perméabilité:

Le critère retenu pour mesurer la perméabilité est la vitesse de percolation de l'eau, exprimée en cm³/5mm (REDLICH et VERDURE in BOUKHLOUA, 1982). La perméabilité est indépendante du taux de matière organique. Selon les mêmes auteurs, un taux élevé n'implique pas fortement une bonne perméabilité. Cependant, son degré de décomposition a une influence sur cette dernière; plus la matière organique est décomposée, plus la perméabilité est faible et vice-versa. La perméabilité permet l'évacuation rapide de l'eau en excès et la bonne aération de la

masse du substrat condition nécessaire pour que les racines puissent absorber l'eau et les éléments nutritifs; ainsi que l'activité biologique est indispensable à la répartition des racines. En revanche la morphologie racinaire peut être fortement gênée par des excès d'eau occasionnés par un substrat peu perméable; ce sont surtout les jeunes racines qui sont les plus gênées dans leur croissance. Selon REDLICH cite par AZZI (1997), il est pratiquement impossible de créer un milieu où la plante trouve à la fois l'air et l'eau nécessaire.

I-4-1-4- La porosité:

La porosité est une notion essentielle pour tout ce qui concerne la réserve en eau, la circulation des fluides (eau et air) et les possibilités d'enracinement (BAIZE et JABIOL, 1995). Elle est représentée par l'espace poral ou ensemble des espaces libres entre les particules élémentaires occupés par l'air et l'eau (PREVOST, 1990). Tous les substrats sont des corps poreux, comportant en leur sein des cavités, et des vides dans les quels se trouvent des fluides (liquide, gaz). La porosité totale est le rapport du volume des vides existant dans un volume total donné de matériaux (GRAS, 1989), (CROZON et NEYROUD, 1990). Selon RIVER in TAGHILT, 1984), la porosité des substrats à base de tourbe dépasse 75%, elle se situe selon MOINREAU et al, (1987) entre 83.3% et 96.4% dans 13 types de tourbes testées de couleur brune et blonde. La conception d'un mélange dont on souhaite prévoir les propriétés, suppose la connaissance de certains éléments tel que ; les caractéristiques des constituants et les lois des mélanges qui régissent l'évolution des propriétés en fonction des proportions de chacun des constituants. En effet, FIES (1971 et 1972) et SPOMER (in LEMAIRE et al, 1989) ont modélisé la propriété "porosité" et ont envisagé trois types de mélanges selon différents modes à savoir, par additivité, par remplissage et par substitution

Concernant, le modèle par additivité, il n'y a pas alors à proprement parler de mélange, mais seulement une juxtaposition de volumes de substrats homogènes, indépendants les uns des autres (mélange sans interaction). Les modèles par remplissage et par substitution sont valables pour les mélanges d'un matériau fin avec un autre de porosité grossière, il y a d'abord un remplissage des pores du matériau grossier par le matériau fin. Il faut signaler que le volume occupé par le mélange est plus petit que la somme des volumes des deux constituants, utilisés (mélange avec interaction). La porosité ne peut être approchée et quantifiée sérieusement que par des techniques physiques appropriées (mesures au laboratoire ou in situ de la porosité total par l'intermédiaire de la densité apparente ou du volume massique ou par des observations et mesures sur lames minces (micro-morphologie et analyse d'image) en évitant les artefacts liés au dessèchement des échantillons (BAIZE ,1990). La porosité est élevée dans les substrats entre 75 à

95% alors que dans le sol, la valeur de 50% est normale (LEMAIRE et al, 1981 in AZZI, 1997).

I-4-1-5- La rétention en eau:

L'eau de rétention est la partie d'eau stockée dans les micropores. Pour une porosité donnée, la rétention en eau recommandera la teneur en air c'est-à-dire que ; l'état substrat dépend largement de l'état de l'humidité dans les pores. La dynamique structurale d'un support est étroitement liée à sa dynamique hydrique (BAIZE et JABIOL ,1995).

I-4-1- Caractéristiques physico-chimiques des substrats: A capacités physiques équivalentes, ce sont les propriétés chimiques et biologiques qui détermineront le choix c'est la hiérarchie à respecter dans le domaine des supports de culture pour les plants, même s'il est évident que tout substrat doit respecter des règles élémentaires, notamment au niveau du pH et la salinité. Ce sont en effet les deux premières propriétés chimiques à surveilles afin que la plante puisse trouver tous les éléments dont elle a besoin, et qu'elle ne subisse pas de blocage KRUSSMANN (in LEMAIER et al, 1989).

I-4-1-1- Le pH:

La connaissance des niveaux des concentrations des ions H_3O^+ d'un sol se réfère à la notion de PH. Les bactéries responsables de la décomposition de la matière organique fraîche et transformée restent en perpétuelle activité, en pH neutre (DOMMERGUES, 1970). D'après (METRO, 1951 in FELLAH, 1979) un pH voisin de 7 est souhaitable et peut convenir à toutes les espèces. L'amplitude du pH (KCL) que peuvent supporter des plantes de pépinières et des plantes en pots varie de 4 à 8. Les valeurs de pH qui varient de 5 à 8 sont souhaitables dans un milieu de culture hors sol, valeurs optimales pour une bonne activité microbienne.

I-4-1-2- Rapport carbone/azote (C/N):

Le rapport C/N traduit la capacité minéralisatrice: plus cet indice est élevé, moins cette capacité est bonne (SERAG, 1985). Un rapport C/N bas inférieur à 25 accéléré la décomposition est limite par conséquent les possibilités d'humification (DOMMERGUE et MONGENOT, 1970). Dans le cas des substrats organiques préparés à partir de substances naturelles, ce rapport peut servir à caractériser la résistance à la dégradation microbienne des différents types de matières organiques. (LEMAIRE et al, 1989). Les mêmes auteurs signalent que le rapport C/N du substrat organique naturel varie de 11 à 300. De l'autre côté, les conséquences d'un manque de stabilité biologique du substrat sont liées à ce rapport; les substrats à C/N faibles ou moyen (LEMAIRE et al, 1989) ne conviennent pas, du fait qu'ils évoluent au cours du temps par minéralisation. Il en résulte des tassements des variations de porosité

liées aux pertes de matières sèches et au colmatage. Par les éléments fins ou colloïdaux; une

concurrence pour l'oxygène entre les microorganismes et les racines apparaît d'autant plus que la porosité est faible. Cela est confirmé par LEMAIRE et al, (1989) sur l'utilisation du fumier de champignonnières de gobeté comme un support de culture. Ils observent après 06 mois d'expérimentation une compaction importante (perte de volume: 42%), la teneur en eau augmente car le matériel en retient de plus en plus, GRAS, (1987) notait pour les tourbes seules en l'absence de culture, des pertes de masse par décomposition qui sont faibles en un an (1.7 à 2.4% de la masse initiale). En effet, SCHNEIDER, (1982) trouve que, la biodégradation des tourbes reste relativement faible (pour deux tourbes, brune et blonde), il a observé une dégradation des tourbes de 1 à 2% en 21 jours dans des conditions d'incubation favorable. Ainsi pour accélérer l'évolution biologique il est nécessaire de lui ajouter des substances nutritives (GROS, 1962). Cependant, en culture, la diminution du volume apparent des tourbes pendant un an est de l'ordre de 5 à 10% sans culture et de 7 à 18% avec culture; la rétention en augmenterait au détriment de la teneur en air. D'autre part, la perte de masse en mélange de tourbes sous culture est plus élevée en présence de terre (3.7 à 8.6%) de la masse initiale en 3 ans (GRAS, 1987). En culture, la diminution du volume apparent dépasse 20% de la valeur initiale. De ce point de vue LEMAIRE et al, (1989) préfèrent l'emploi des matières organiques à C/N élevé car la décomposition lente perturbera moins le milieu physique, il apparaît alors que les tourbes blondes et les écorces sont intéressantes dans ce cas. Le rapport C/N donne une idée sur la vie biologique du sol, il permet d'en apprécier les propriétés physico-chimiques. Il existe une corrélation entre le taux de minéralisation; d'une part le pH et le rapport C/N d'autre part (la minéralisation étant voisine de zéro pour un C/N supérieur à 25 ou 30) (DUCHAUFOR, 1983).

La matière organique bien décomposée (l'humus stable) à un rapport C/N voisin de 10 (MUSY et al, 1996). cette valeur indique une vie microbienne active se déroulant dans le sol. Si ce rapport est faible, cela est due à l'importante activité microbienne qui s'y déroule (BRAUMAN et FALL, 1998). l'azote résiduel est libère sous forme d'ammonium sera ensuite nitrifié (BENSID, 1996).

Tableau n° 02 : Le rapport C/N de différentes matières organiques (Source: LEMAIRE et al, (1989))

Types de matières organiques	C/N
Fumier de bovin	28
Fumier d'ovin	23
Fumier de champignonnières	19
Boues tout venantes	30
Composts urbains	14
Ordures ménagères fraîches	11
Tourbe blonde française 1	20-25
Tourbe blonde française 2	26
Tourbe blonde Russe	54
Tourbe allemande	49
Ecorce de pin maritime non compostées	300
Ecorce de pin sylvestre composté	92

I-4-1-3- Conductivité électrique (C.E).

La mesure de la conductivité à une température fixée, fournit un moyen rapide d'apprécier la salinité des substrats organiques.

La salinité ou conductivité électrique ne doit pas dépasser 1.5mmhos, l'aspect substrat, réserve en éléments nutritifs est un point à considérer (GUILBERT, 1996).

I-4-1-4- Le pouvoir nutritif:

Le pouvoir nutritif du substrat est fonction de la qualité d'éléments présents dans le substrat (LEMAIRE et al, 1989). Selon les mêmes auteurs, les substrats sont choisis en fonction de leur pouvoir de modifier la composition chimique de la phase liquide et la teneur en éléments minéraux nécessaires à la nutrition végétale. Par ailleurs, dans les cultures sur substrats pauvres en éléments minéraux, la nutrition dans ce cas peut être assuré à l'aide d'une solution nutritive; la solution nutritive est une solution de sels minéraux contenant à l'état dissous tous les éléments minéraux dont la plante a besoin (COICY et LESAIN, 1975).

Conclusion :

Le sol doit présenter les caractéristiques d'un bon substrat, donc un support physique de protection en cours d'élevage des plants. Puisque le système racinaire du plant respire et se développe, le substrat est donc tenu à lui ménager l'air et l'espace dont il a besoin. Selon les normes du CEMAGREF (1991) ; (centre national du machinisme agricole du génie rural des eaux et des forêts), les propriétés d'un bon substrat peuvent être résumées par ; un pH compris entre 5 et 8, une porosité importante, une disponibilité en eau élevée, une teneur en air importante et une capacité d'échange cationique (CEC) importante.

Donc, le substrat de culture doit être un support solide composé d'un élément rétenteur d'eau et d'un élément aérateur. En effet, un seul composé ne permet généralement pas de satisfaire à la fois les besoins en eau et en air de la plante.

Le choix et la proportion du mélange se fait en fonction de la réponse des matériaux aux nécessités décrites ci-dessus (caractéristiques d'un bon substrat).

D'autres facteurs doivent être pris en compte : la facilité d'utilisation, les possibilités d'approvisionnement local d'une manière régulière en fin le prix de revient.

QUATRIEME CHAPITRE: **RACINAIRES**

METHODES D'ETUDE DES SYSTEMES

Introduction:

Les racines jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement et donc dans la production des plantes. C'est grâce à elles que se fait l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux de celle-ci. Mais il existe aussi d'autres fonctions: ancrage sur le substrat, réserves en assimilats, métabolisme. Les racines contribuent en particulier aux équilibres hormonaux qui contrôlent la croissance et le fonctionnement de la plante. Elles constituent également une source de matière organique pour le sol; c'est même parfois la seule restitution régulière dans beaucoup de systèmes de culture. Il est donc important pour la production de la culture, mais aussi pour le maintien de la fertilité du sol, d'avoir un système racinaire bien développé, notamment en profondeur.

Un des rôles essentiels des caractéristiques physiques des sols est de faciliter la croissance des racines dans ce milieu contraignant. Pour cela, il permet souvent de diminuer la résistance du sol à la pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et parfois de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine.

Le système racinaire devrait donc être un critère important d'évaluation, par les agronomes et les forestiers, de la nécessité ou non d'une amélioration des caractéristiques physiques du profil cultural par le travail du sol, ou par un meilleur choix des substrats de culture en pépinière, puis après réalisation, de l'efficacité de celle-ci. Malheureusement les systèmes racinaires des végétaux sont encore peu connus car difficiles à observer au champ. C'est la face cachée de la plante.

On passera en revue quelques méthodes d'étude des systèmes racinaires au champ, en présentant les avantages et les inconvénients de chacune.

I-1- Méthodes d'étude des systèmes racinaires:

I-2- Technique du "profil cultural":

La méthode la plus simple et la plus ancienne pour observer les racines est de creuser une fosse à proximité de la plante, avec une paroi verticale à proximité du pied, de

dégager les racines avec un couteau et de les observer. C'est la technique du "profil cultural" très utilisée dans l'école française d'agronomie (Hénin *et al.*, 1960). La technique offre l'avantage d'être facile à mettre en oeuvre. Elle permet aussi de relier la répartition du système racinaire aux caractéristiques locales du milieu. C'est un très bon outil de diagnostic rapide de l'état du sol et des effets d'une intervention

culturelle. Elle ne permet pas, toutefois, d'obtenir des données quantitatives permettant de comparer ou de suivre objectivement des situations dans l'espace et dans le temps. Des travaux plus récents ont permis d'obtenir des informations plus objectives à partir de profils culturels, mais la technique d'observation est alors plus complexe (Manichon, 1982).

I-3- Prélèvements d'échantillons de sol par la sonde "Méthode de (WIERSUM, 1967)":

Pour obtenir des données quantitatives, on utilise les méthodes classiques d'étude des systèmes racinaires (WIERSUM, 1967) (Maertens, 1964; Bonzon et Picard, 1969), l'une des meilleures consiste en l'examen des racines contenues dans des carottes de terre prélevées à l'aide d'une sonde. Le prélèvement de ces carottes peut se faire de deux façons : soit en enfonçant la sonde verticalement à partir de la surface, soit en creusant une fosse et enfonçant la sonde verticalement dans les parois de la fosse.

On prélève alors une faible partie du sol et il faut faire en sorte que ces petits échantillons soient aussi représentatifs que possible du système sol-racine. Ceci n'est pas évident, à cause de l'hétérogénéité du sol et de diverses sources de variabilité de la distribution des racines (gradients verticaux et horizontaux, variabilité spatiale, croissance).

D'un point de vue pratique la première manière présente l'avantage de ne pas modifier énormément le milieu dans lequel le prélèvement est fait, par conséquent de permettre d'effectuer des carottages repesés dans le temps sur des parcelles d'essai même assez petites .mais ,le plus souvent la longueur des carottes est définie arbitrairement et non selon les horizons du profil culturel. La difficulté a parfois été détournée par l'utilisation de corps de sonde de grande longueur, enfoncé et retiré mécaniquement. la carotte extraite est alors découpée selon les horizons .toutefois, cette méthode exige des moyens mécaniques importants qui ne sont pas toujours disponibles.

Prélèvements d'échantillons de sol par tranches horizontales :

Pour échapper à ces risques d'erreur ou d'imprécision, on peut prélever, par tranches horizontales, tout le sol situé en dessous d'une placette cultivée (Chopart et Nicou, 1976). La surface de terrain prélevée doit alors être un multiple de la surface occupée par un pied. Cette méthode permet une bonne évaluation de la biomasse racinaire totale et là comparaison, par exemple, avec la biomasse de la partie aérienne située au dessus, mais elle entraîne le prélèvement de volumes très élevés de sol. Elle devient donc vite très lourde et perturbe le milieu. Elle est donc réservée à des travaux de recherche.

La deuxième manière est destructive, puisqu'elle oblige à creuser une fosse à l'emplacement choisi pour les prélèvements .elle présente l'avantage, si l'on opère en milieu inconnu à l'origine, de permettre de choisir les zones de prélèvements en fonction de la configuration du profil (HENIN et al ; 1960) et elle est parfois plus facile à mettre en œuvre, la fosse une fois creusée, dans les sols compacts ou caillouteux (MAERTENS, 1964).

D'un point de vue plus théorique, un prélèvement fait verticalement sur une certaine hauteur masque le gradient de développement vertical au sein de l'échantillon. Ceci peut avoir des conséquences importantes lorsqu'une carotte est prélevée à cheval sur deux horizons. De même, un prélèvement fait horizontalement peut masquer l'existence de gradients horizontaux.

Dans tous les cas, une fois les échantillons prélevés, il faut extraire les racines du sol. Pour cela, on procède à un tamisage du sol sous jet d'eau, avec un tamis à mailles de 1 millimètre. Une fois les racines extraites et séparées des débris organiques, on mesure leurs différentes caractéristiques. Le poids des racines est le plus simple à obtenir, il est intéressant pour évaluer la biomasse, mais il n'est pas le plus pertinent pour appréhender les mécanismes d'alimentation hydrique et minérale (Maertens *et al.*, 1982). La mesure de la longueur des racines est alors la plus intéressante car elle permet d'obtenir la densité de longueur de racines par unité de volume de sol et d'estimer les distances moyennes entre celles-ci. On peut mesurer la longueur en utilisant la méthode de Newman (1965), ou mieux, des techniques dérivées . A partir de la longueur, on peut estimer, par calcul et avec quelques hypothèses simplificatrices, les distances moyennes entre les racines (Maertens *et al.*, 1982).

I-4- Comptages d'impacts de racines sur un profil de sol:

Les longueurs des racines et les distances moyennes entre racines sont les critères les plus pertinents pour évaluer la "qualité" d'un système racinaire en ce qui concerne ses capacités à extraire l'eau et les éléments minéraux du sol. Il existe une méthode permettant une estimation du degré de colonisation du sol par les racines sans avoir recours à des prélèvements de sol. Celle-ci se rapproche de la méthode des profils culturaux, mais on applique une "grille" sur le profil avec des mailles allant de 2 à 10 cm. Cette méthode a, par la suite, fait l'objet d'adaptations et de développements divers (Tardieu et Manichon, 1986). Cette grille permet de repérer la zone observée sur le profil, et de compter (ou d'estimer) le nombre d'impacts racinaires par maille de la grille. On accède ainsi à une donnée quantitative: le nombre d'impacts racinaires par unité de surface de profil. On peut procéder à la cartographie des plans racinaires observés, avec un traitement statistique des données (Tardieu et Manichon, 1986), et évaluer ainsi

la colonisation du profil et l'hétérogénéité de celle-ci. Toutefois, le nombre d'impacts racinaires par unité de surface de profil n'est pas directement lié à la longueur de racines par volume de sol, ce qui complique l'estimation de ce paramètre essentiel pour les études d'alimentation hydrique et minérale (Chopart et Siband, 1993).

I-5- Méthode du tranchée en spirale "J.G. HUGUET, 1973":

L'étude de l'enracinement des arbres et des plantes revêt une importance particulière. Outre L'aspect résistance au déracinement, une telle étude peut conduire à mieux adapter les techniques culturales notamment dans le domaine de l'irrigation et de la fertilisation. Pour étudier les arbres sans les détruire, on peut utiliser la méthode décrite par J.G. HUGUET ,1973.cette méthode repose sur les principes suivants :

- 1- Le système d'enracinement présente une disposition rayonnante à partir tronc (présence de roches et profil pédologique homogène).
- 2- Ses extensions sont limitées (distance maximale d'exploration D).
- 3- La ligne de plantation se trouve dans le plan de symétrie des racines (densité de plantation réservant suffisamment d'espace entre chaque arbre) ; il suffit d'explorer une zone de sol inscrite dans un demi-cercle de rayon D situe d'un cote ou de l'autre de la ligne de plantation. L'exploration est réalisée selon une tranchée en spirale logarithmique ; dont la formule est la suivante :

$$P = Be^{zt}$$

P (rayon), **t** (angle) : coordonnées polaires.

z = distance entre le tronc et le point de départ de la spirale interne. Cette distance varie en fonction du diamètre du tronc ; elle est donnée par les tables de HUGUET :

$Z = (\log R/d) / k$

Z : paramètre

R : rayon moyen de la couronne de l'arbre.

d : diamètre du tronc

k : constant (3.14)

I-6- Méthodes diverses:

A côté de méthodes d'observation directe des racines ou de prélèvements d'échantillons de sol, il existe des méthodes, plus sophistiquées. Il s'agit de **l'endoscopie** et des techniques faisant appel à des **traceurs, radioactifs** ou non.

- **L'endoscopie** consiste à insérer dans un milieu difficilement accessible des fibres optiques permettant d'apporter de la lumière et un moyen d'observation. Elle est utilisée dans le domaine médical et industriel. Pour étudier l'enracinement des

plantes, on insère dans le sol un tube en plastique transparent, ce qui permet d'observer les racines qui apparaissent à la surface extérieure de celui-ci (Maertens et Clauzel, 1982).

- Avec les techniques faisant appel à **des traceurs**, on place dans le sol un produit qui, s'il vient à être au contact d'une racine, est absorbé par elle et est transporté dans les parties aériennes, d'où il peut être repéré par analyse de l'élément radioactif ou par simple observation de symptômes foliaires, pour des molécules d'herbicide. L'avantage principal de ces deux types de méthodes est de ne pas trop perturber le sol, l'inconvénient en est la difficulté de mise en oeuvre pour une certaine pauvreté de l'information enregistrée.

I-7- Méthode GPR (ground-penetrating radar) (Radar de pénétration dans le sol)

D'après (Nadzhada et al,2003),elle a été utilisée pour la première fois,dont le but d'évaluer l'efficacité du radar de pénétration dans le sol pour cartographier in situ le système racinaire d'arbres ornementaux, cette technique a été testée avec trois arbres localisés dans un environnement urbain. Après avoir mené le test avec le radar de façon extrêmement rapide autour de la base des arbres, le système racinaire a été dégagé avec un "Air Spade ", un appareil qui produit un jet supersonique d'air pour enlever le sol autour des racines. Des photos de sections transversales du système racinaire ont été prises afin de les comparer avec les images provenant du radar. L'architecture du système racinaire a par la suite été quantifiée pour un pin, et une image bidimensionnelle du système racinaire refaite à partir du logiciel AMAPmod. Une comparaison entre le système racinaire réel et les images faites à la main à partir des données du radar ont démontré que cette technique était fiable seulement pour la cartographie des grosses racines, et sur un plan horizontal uniquement. La plupart des erreurs dans les données avec la méthode du radar ont été faites lorsque le système racinaire a été redessiné manuellement, et aussi lorsque des racines couraient parallèlement au signal électromagnétique selon un plan vertical. Ces racines ne pouvaient alors être identifiées avec le radar. La technique du radar de pénétration dans le sol peut être considéré comme un outil non destructeur valable pour l'arboriculteur, mais elle nécessite encore des améliorations, plus spécifiquement au niveau du logiciel pour reconstruire une image 3-D de l'architecture du système racinaire à partir des données brutes.

MATERIEL ET METHODES

Matériel et méthodes:

I- Matériel

I-1 Substrats utilisés:

I-1-1- Eléments rétenteurs d'eau:

I-1-1-1- Le sol : le sol utilisé pour l'élevage des semis est un sol agricole de la région de Batna ; qu'à été prélevé de l'horizon A d'un bas versant de Belezma. Pour l'établissement d'un tableau de renseignement sur notre sol, on a effectué les analyses consignées dans le tableau n° 06 en annexes.

I-1-1-2- Litières forestières :

Il s'agit des litières anciennes de Pin d'Alep et du chêne vert (feuilles mortes, rameaux, brindilles), divisée mécaniquement Voir enfouie au sein des Horizons minéraux, de couleur noir. En d'autre terme, c'est une couche en cours de décomposition début de fermentation et humification.

I-1-2- Eléments aérateurs:

Les quantités en volume testées sont fonction de la nature du rétenteur, de la densité de l'aérateur et du volume du pot. Pour cela les quantités retenues sont de : 700g pour la Sciure de Bois, 700g pour l'écorce, 500g pour l'écaille.

I-1-2-1- Sciure de Bois :

Elles sont utilisées comme élément aérateur se sont des particules de 1,5 cm de longueur moyenne.

I-1-2-2- Tourteaux d'olive :

Ce sont les déchets récupérés des huileries de la région. Ils sont utilisés comme élément rétenteur (Matière organique) avec un poids de 107,12g/5kg de sol. Les tourteaux d'olive sont séchés à l'air libre puis broyés a des particules de 0.5 cm de diamètre moyen.

I-1-2-3- Ecailles de Pin:

ce sont des particules Qu'on obtient après désarticulation manuelle des cônes de Pin. Ces écailles sont séchées à l'air libre, broyées à 0,5 cm.

I-1-2-4- L'Ecorce :

Elle se présente sous forme de particules hétérogènes séchées broyées avec un diamètre moyen de 0.5cm.

Les différentes analyses des substrats cités en haut, sont présentées dans (le tableau n° 03 en annexes).

La combinaison des éléments précédents nous donne un total de 16 mélanges; cités en tableau n° 04.

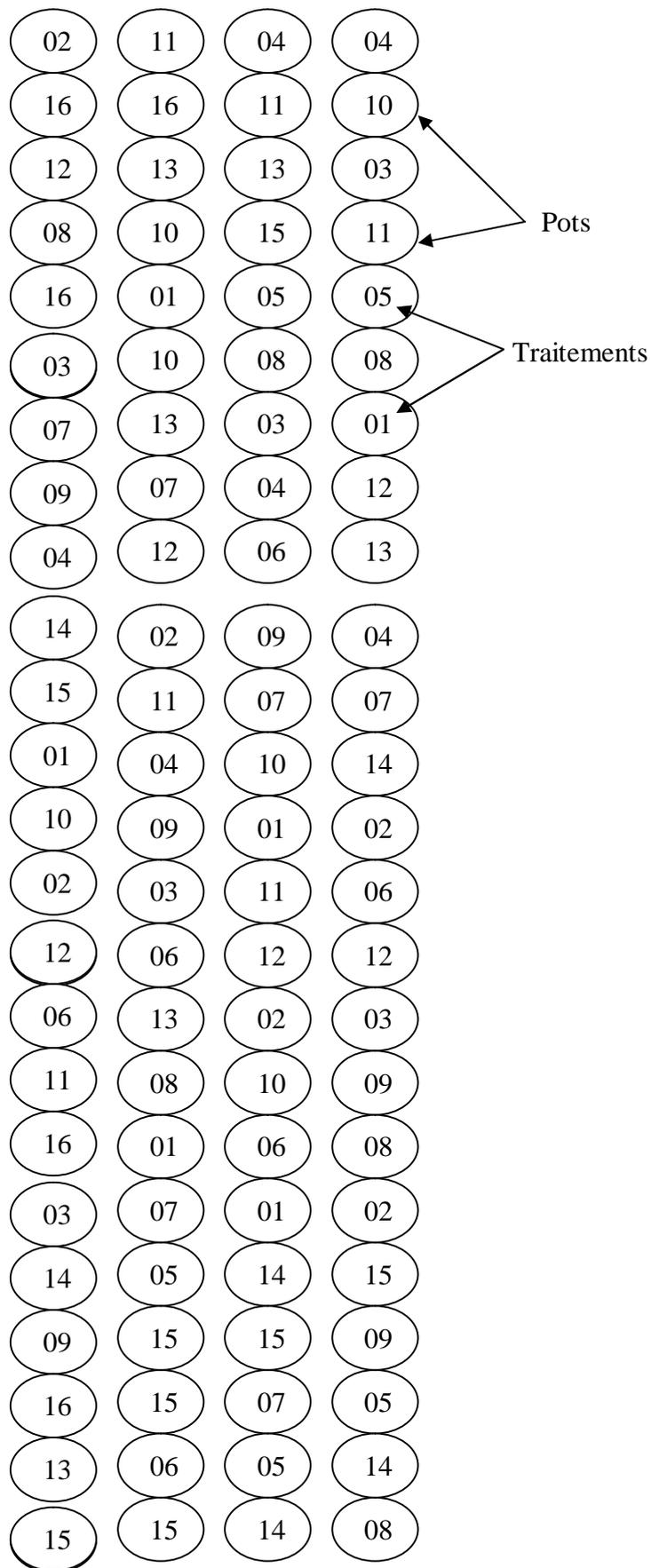
Tableau n°04 : Traitements utilisés.

	Sol	Eau	Plants de Pin	écorce	écaille	sciure	L. Mixte	L. Mono	Tourteaux O
T1	X	X	X	X			X		
T2	X	X	X			X	X		
T3	X	X	X		X		X		
T4	X	X	X	X				X	
T5	X	X	X			X		X	
T6	X	X	X		X			X	
T7	X	X	X	X					X
T8	X	X	X		X				X
T9	X	X	X			X			X
T10	X	X	X						
T11	X	X	X	X					
T12	X	X	X		X				
T13	X	X	X				X		
T14	X	X	X					X	
T15	X	X	X			X			
T16	X	X	X						X

I-1-3- Les plants forestiers (Les semis) :

Il s'agit des plantules de pin d'Alep âgés de 3.5 mois élevées en pépinière au parc national de Belezma. D'autre part, les mesures biométriques des semis sont faites à 02 mois, 04 mois et 06 mois après le repiquage; les résultats bruts sont reportés en annexe. Dans les pots en plastique de 10kg ; sont remplis les mélanges tamisés, terre du profil de culture, éléments aérateur avec ou non les éléments rétenteurs. Chaque pot contient deux plants de Pin d'Alep. L'essai comprend 06 répétitions, chaque une en total soit 192 unités expérimentales. Les pots sont installés sur un paillasse dans un laboratoire à l'institut d'agronomie de Batna selon la figure n° 02.

fig.n°02 Schéma de la disposition des pots sur la paillasse



II- Méthodes :

II-1- Choix des proportions des éléments aérateurs et rétenteurs :

II-1-1- L'élément rétenteur:

Dont le but d'augmenter le taux de la matière organique du sol à 15 %, on à ajouter à ce dernier; (litière mixte 'Pin + chêne vert'- litière monospécifique du Pin d'Alep et du

Tourteaux d'olivier) seules ou compostées à d'autre types d'aérateurs et à des quantités de :

- litière mixte (Pin + chêne vert) 434.47 g/5kg de sol
- litière monospécifique (Pin d'Alep) 437.29 g
- Tourteaux d'olivier 502.11g/5kg de sol.

II-1-1-1- Composition chimique des litières :

Après l'opération de tri des litières, la fraction constituée de feuilles entières anciennes de chêne vert et de Pin est séchée à 105°C, broyée et tamisée à 2mm à fin effectuer les différentes analyses présentées dans (Tableau n°:07 en annexes).

II-1-3- L'élément aérateur :

Pour améliorer les caractéristiques surtout physiques (aération) du sol ; on a ajouter (par 05kg de sol), les aérateurs suivants : 700g pour les Sciure de Bois, Pour les Plume 200g qu'a été raisonné surtout en fonction du volume du pot, 700g pour l'écorce, 500g pour l'écaille et en fin 700g pour les Tourteaux ou (Grignons) d'olive, (Tableau n°03 en annexes).

II-1-4- Analyses physicochimiques des différents mélanges

II-1-4-1- Détermination des éléments P,K Ca , Na ,Mg :

Il a fallu trois étapes, pour la détermination de ces éléments chimiques. Ces phases sont les suivantes :

II-1-4-2- Minéralisation des échantillons des litières, écorce, tourteaux d'olivier, écailles et la sciure :

Ce mode de minéralisation à pour principe d'éliminer la matière organique de la poudre par la calcination au four à moufle à une température de 450°C pendant deux à trois heures, pour obtenir des cendres généralement claires, et par une opération de différence des poids on peut déterminer le taux de la matière organique contenue dans nos échantillons. En suite, les cendres obtenues sont soumises à l'attaque d'acide chlorhydrique concentré et à une dilution par l'eau distillée, afin d'obtenir des solutions prêtes aux dosages.

II-1-4-3- Dosage:

Ces analyses quantitatives de la solution de cendres sont obtenues de trois façons:

- par spectrophotométrie d'absorption atomique pour le Ca⁺⁺, et le Mg⁺⁺.
- Par photométrie à flamme pour la potassium K⁺.

- Par photocolorométrie pour le phosphore P_2O_5 .

II-1-4-4- Détermination de l'azote total :

Le dosage de l'azote s'effectue par la méthode KJELDAHL qui a pour principe, la décomposition de l'azote organique en sulfate d'ammonium après une attaque par l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseur et une température élevée $360^{\circ}C$ à $400^{\circ}C$. On distille avec un excès de soude et titre l'ammoniac entraîné par l'acide sulfurique (N /14).

II-1-4-5- Détermination du carbone organique :

Cette méthode a pour principe d'oxyder les formes actives du carbone organique, cette réaction est facilitée par la chaleur qui se traduit quant deux volumes de H_2SO_4 sont mélangés avec un volume de $K_2Cr_2O_7$; et une solution réductrice (sulfate de fer), la fraction de solution de dichromate non réduite est titrée avec du sel de MOHR on en déduit par rapport à un témoin la fraction réduite proportionnelle à la teneur en carbone de l'échantillon.

II-2- Prélèvement des échantillons des plants :

L'échantillonnage a été réalisé à 02 mois, 04 mois et 06 mois, d'une manière que pour chaque période les 16 traitements doivent être présents. Les pots contenant les plants de Pin d'Alep sont immergés dans de l'eau pendant 01 heure, puis la terre est séparée des racines par un jet modéré d'eau du robinet. Les racines sont ensuite lavées dans un bac avant de procéder aux mesures. Après émergence, les descripteurs de la croissance des systèmes aérien et souterrain, ont fait l'objet de différentes estimations.

II-2-1- Mode d'arrosage des plants :

L'irrigation se fait à partir de l'eau de robinet et à raison (pour tous les essais) d'une fois par semaine, avec une quantité moyenne de 1000 ml/pot, pour chaque pot (tab.11 en annexes). Mais après les observations faites sur les assiettes en dessous de ces derniers (pots), ou les eaux de lessivage peuvent durer plusieurs jours, on a jugé utile de diminuer cette quantité, selon l'état de dessèchement du sol, suivant le calendrier (diminution à partir de la troisième irrigation). Pour cela la fréquence des apports est liée à la consommation réelle du plant ; tout en basant sur un contrôle visuel qui demande une grande disponibilité et une bonne technicité ; le self-mulching (dessèchement de la surface du sol) entraîne une appréciation erronée de l'état hydrique du substrat.

II-3- Dispositif expérimental :

On s'intéresse à 16 traitements (T1, T2, T3,...T16) et 03 périodes (P1, P2, P3) .on a ainsi 02 facteurs ; le facteur traitement avec 16 niveaux et le facteur période avec 03 niveaux. On a en tout $16 \times 3 = 48$ essais, formés par toutes les combinaisons ;

traitement x période (T1 x P1, T1 x P2,.....T16 x P3). Le dispositif utilisé est celui du bloc aléatoire complet. Deux blocs ont été utilisés; dans chaque bloc, les 16 traitements ont été affectés au hasard aux sous blocs donc, l'essai a porté au total sur 192 plants de Pin d'Alep.

II-4- Mesures des plants:

II-4-1- Paramètres biométriques :

13 paramètres d'appréciation de la croissance sont retenus, à savoir ; Paramètres racinaires ou Paramètres aériens, mentionnés dans le tableau n°10 en annexes. L'analyse descriptive de ces paramètres nous incite à répondre à certaines prérogatives qui sont surtout la morphométrie racinaire, la détermination du meilleur rétenteur, la meilleure proportion (aérateur/rétenteur) et enfin le meilleur aérateur, pour arriver enfin de compte à sélectionner le ou les meilleurs substrats qui donnent des plants vigoureux..

II-4-2- Paramètres qualitatifs : Observations effectuées chaque 02 mois jusqu'au sevrage des plants, au 06ème mois .Quatre paramètres sont observés ; la vigueur du plant, l'état sanitaire, la colonisation de la motte et le développement racinaire. Ainsi pour la description morphologique on photographie tous les plant, après plantation pour faire ressortir la différence de croissance des plants sous l'influence des différents milieux de cultures, à savoir : la forme des racines, leur importance, leur distribution à travers le profil expérimentale. Notons que les dimensions des différentes parties de la plante (qualitative et quantitative) sont des variables, qui reflètent les différents milieux écologiques. La notion de variable ou de caractère n'a selon BIDAUT (1971) in Boukaaboub 1994, de sens que si elle est associée à des comparaisons. Pour cela, nous avons employé principalement l'analyse de variance (pour distingué le meilleur mélange).

II-5- Analyses statistique employée :

Afin de mieux caractériser la partie souterraine du pin d'Alep et d'évaluer ses aptitudes productives en rapport avec son milieu de culture, nous avons procédé a une analyse statistique ; par analyse de la variance sur l'ensemble des traitements et variables utilisés.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Résultats et discussions :

L'obtention des données quantitative définissant l'enracinement en fonction de certaines caractéristiques surtout physiques du sol (substrat de culture), et cela dont le but de caractériser la biomasse et le développement des jeunes plants de Pin, a été effectué d'une manière périodique, après 02, 04 et 06 mois. D'après les résultats enregistrés, on constate d'une part, que le facteur période joue un rôle primordiale, selon une évolution progressive pour l'ensemble des indicateurs de croissance étudiés (PHA, PHS, PSS, NAP...) ou régressive parfois pour certains rapports calculés (R1, R2 et SRL), d'autre part, d'après la lecture des trois tableaux n° 11,12 et 13 en annexes, cela ne peut être que tributaire des mélanges appliqués ou substrats de cultures testés. Ces estimations des 13 paramètres morphologiques (poids, longueur, diamètre...), nous montre donc, d'une manière générale, une grande variabilité d'une part ; d'une période à l'autre et d'autre part entre les mélanges appliqués, qui reflète chacun « un milieu écologique » ou substrat d'appréciation de la croissance.

I- Etude statistique:

I-1- Analyse de la variance:

I-1-1- PHA :

Après application de l'analyse de variance suivi d'une classification selon le test de NEWMAN et KEULS , pour l'indicateur de croissance PHA, et sur les facteurs ; traitement et période, on constate que pour le facteur période indique les résultats ci-dessous:

Tableau n°14 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Periode	Groupe	Valeurs moyennes
03	A	0.41g
02	B	0.21g
01	B	0.18g

On constate qu'il y a une légère différence (0.03 g) pour ce critère entre les périodes 02 mois et 04 mois, par rapport à la période 06 mois.

D'autre part, la variable PHA a tendance de faire de différences significatives entre les traitements, qui se traduisent par la classification en groupes suivants:

Tableau n°15 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₁₁	A	0.4730g
T ₄ , T ₅ , T ₁₅ , T ₇ , T ₁₄ , T ₁ et T ₈	AB	(0.40 – 0.37 – 0.37 – 0.35 – 0.34 – 0.34 et 0.33) g
T ₂	B	0.32g
T ₁₃	BC	0.25g
T ₁₂	CD	0.17g
T ₉ , T ₁₆ , T ₃ , T ₆ et T ₁₀	D	(0.12 – 0.12 – 0.12 – 0.11 et 0.09)g

On remarque d'une part que les substrats de cultures ne donnent pas et ne produisent pas, la même quantité humide du système aérienne, ce qui se traduit par un CV important de 30.3%. D'autre part, les poids humide de la partie aérienne les plus élevés sont enregistrés, sous les substrats à base surtout des aérateurs (écorce, sciure) seuls ou en mélange avec de les trois types de matière organique utilisés; cela d'une part, d'autre part de la litière mono;(T₁₁,T₄,T₅,T₁₅,T₇,T₁₄,T₁, T₈ et T₂), pour cela il fluctue entre un minimum de 0.09 (T₁₀) et un maximum de 0.47 (T₁₁) ;(fig. 15).

La valeur de CV montre l'existence d'écart entre les PHA produits sous les différents mélanges, ce qui signifie que pour l'ensemble des mélanges, les conditions ne sont pas les mêmes, qui serait lié aux différentes caractéristiques surtout physiques des substrats.

A travers les résultats obtenus, on peut dire que plus le substrat a des caractéristiques physicochimiques, bonnes, (tableau n°08 en annexes), plus il y a une accumulation d'eau dans les tissus végétaux. Le PHA, constitue un paramètre intéressant pour caractériser l'état de l'eau dans les tissus des végétaux.

I-1-2- DMC :

L'application du test statistique sur le facteur diamètre au collet (DMC) nous a permis de voir qu'il y a bel et bien une différence significative entre les différents mélanges pour la durée de l'expérimentation $F_{calculé} = 6.61$, supérieur $F_{théorique}$.

Les moyennes obtenues pour les trois périodes (02, 04 et 06 mois), sont respectivement de (0.53 – 0.58 et 0.71) mm. On remarque que, les périodes 02 mois et 04 mois se classent dans le même groupe B, donc pas de différences importantes (0.05), par rapport à la période 06 mois.

La comparaison des moyennes par l'introduction du test de NEWMAN et KEULS, nous a donné les groupes homogènes ci-dessous :

Tableau n°16 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₅ et T ₁₅	A	(0.80 et 0.79) mm
T ₁₁	AB	0.77mm
T ₄ , T ₈ , T ₇ , T ₂ et T ₁	ABC	(0.75 – 0.74 – 0.74 – 0.71 et 0.71) mm
T ₁₃	ABCD	0.67mm
T ₁₄	BCDE	0.50 mm
T ₁₂ et T ₁₆	CDE	(0.47 et 0.46) mm
T ₃ , T ₉ et T ₁₆	DE	(0.43, 0.42 et 0.39) mm
T ₁₀	E	0.37 mm

Les résultats enregistrés montrent que le diamètre au collet, est plus important sous l'effet des substrats; principalement a base d'une part des deux types d'aérateurs (écorce, sciure) seuls ou en mélange avec des éléments rétenteurs, d'autre part a base de la litière mixte que les autres substrats de cultures (écailles, tourteaux d'olivier, écaille+litière mixte, écailles + tourteaux), pour les quelles, une valeur de coefficient de variation (CV = 25.4%), montre la présence d'une variabilité pour ce caractère (DMC) entre les différents mélanges appliqués . Cela veut dire, que certains mélanges cités ci-dessus, ont donnés des résultats très satisfaisants, dépassants la moyenne générale (écorce, sciure, L. mixte). Quand aux milieux de cultures a base de (écorce, sciure) seuls, (T₁₁,T₁₅), il y a presque un dédoublement du DMC, par rapport au (écaille) avec des valeurs enregistrées respectivement de (0.77 et 0.79) mm contre 0.47mm.

I-1-3- PHS :

La réalisation de l'analyse de variance complétée par le test de NEWMAN et KEULS appliquée au PHS (poids humide partie souterraine) pour les différents plants sur les trois périodes expérimentales, a révélée que les 16 traitements employés sont statiquement très différents pour les deux facteurs (période et traitement).

Pour ce dernier caractère, les résultats indiquent l'existence de 03 moyennes biens distinctes de l'ordre de (0.25 – 0.11 et 0.08) g respectivement pour (0.6 – 0.4 et 0.2) mois. On constate que le poids frais de la partie souterraine, est plus important sous l'effet des substrats d'une part, a base de (l'écorce ou de la sciure) seuls ou en mélange avec les éléments rétenteurs, d'autre part a base de la litière mixte seule; il y a une influence positive, certaine sur cette variable.

La valeur élevée du coefficient de variation (CV=23,7%), montre qu'il y a une variabilité importante entre les milieux de culture. Cela veut dire tout simplement que,

"certains substrats" sont dans l'incapacité de provoquer dans les tissus des plants, des quantités importantes d'eau (T₁₂, T₁₆, T₁₇, ...), par rapport aux autres (T₁₁, T₄, T₁₅, ...). Nous constatons les groupes homogènes ci-dessous :

Tableau n°17 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₁₁	A	0.27g
T ₄ et T ₁₅	AB	(0.24-0.23) g
(0.21-0.20-0.20-0.19-0.18 et 0.18) g	B	(0.21-0.20-0.20-0.19-0.18 et 0.18) g
T ₃	C	0.10g
T ₆ , T ₁₀ , T ₁₄ , T ₁₂ et T ₁₆	CD	(0.09-0.07 – 0.06 - 0.05 et 0.04) g
T ₉	D	0.03 g

Cette interaction montre que pour les PHS enregistrés, les moyennes les plus élevées sont associées à des substrats à base des deux types d'aérateurs (sciure, écorce) seuls ou en mélange avec des éléments rétenteurs, cela d'une part d'autre part de la litière mixte seule. Par contre les plus mauvais, ont permis d'avoir les plus mauvais résultats, et sont associés à des substrats à base de: l'écaillés seules ou (en mélange avec de la matière organique), de la litière mono, tourteaux d'olive.

I-1-4- PSA :

Comme pour le PSS, nous avons également effectué une analyse de variance suivie d'un test de NEWMAN et KEULS pour le critère PSA. Les données obtenues montrent l'existence de différences significatives entre les différents substrats. Les moyennes obtenues pour les périodes 1, 2, et 3 sont respectivement de (0.08-0.14 et 0.20) g.

Le test de NEWMAN et KEULS, nous a permis de classer nos résultats en 04 groupes

Tableau n°18 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₈	A	0.31g
T ₁₁	B	0.25g
T ₂ , T ₅ , T ₁₃ , T ₄ , T ₇ , T ₁ et T ₁₅	C	(0.19-0.18-0.18-0.18-0.17-0.15 et 0.15) g
T ₁₂ , T ₁₄ , T ₃ , T ₉ , T ₆ , T ₁₀ et T ₁₆	D	(0.09-0.08-0.08-0.07-0.07-0.06 et 0.05) g

Nous notons, le groupe les plus représentatif ; c'est le groupe " C ", avec 07 substrats (T₂,T₅,T₁₃, T₄,T₇,T₁ et T₁₅). Ces derniers constituent les associations les plus favorables en matière de production de la matière sèche aérienne. Elles sont composées essentiellement des substrats à base des deux types d'aérateur (sciure, écorce) seuls ou en mélange avec des éléments rétenteurs (fig. 16) :

Quand aux milieux de cultures à base de (écorce) seul, (T₁₁), il est presque 300 % plus productif de matière sèche aérienne que les milieux à base de l'écaillage cela d'une part d'autre part la litière mixte; favorise l'augmentation du paramètre PSA .

Par contre les plus mauvais mélanges, ont permis d'avoir les plus mauvais résultats (groupe D), et sont associés à des substrats à base de: l'écaillages seules ou mélangée aux éléments rétenteurs, de la litière mono, tourteaux d'olive.

A travers les résultats obtenus, on peut dire que plus le substrat a des caractéristiques physicochimiques bonnes, (surtout porosité totale), (tableau n°08 en annexes), plus il y a un meilleur développement de la biomasse aérienne, PSA.

L'analyse statistique des données, confirme l'effet positif des aérateurs (écorce, sciure), et les éléments rétenteurs (litière mixte, litière mono).

I-1-5- PSS :

A travers l'analyse de variance de **PSS**, sur les trois périodes, suivie d'une classification de NEWMAN et KEULS, nous constatons en premier lieu qu'il y a de différences significatives pour l'indicateur de croissance PSS, donc la matière sèche racinaire a tendance de faire de différences entre les traitements. La classification de NEWMAN et KEULS, nous offre trois grands groupes ; tableau ci-dessous:

Tableau n°19 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₁₁	A	0.26g
T ₄ ,T ₁₅ ,T ₅ ,T ₈ ,T ₇ ,T ₁₃ ,T ₂ et T ₁	B	(0.21-0.20-0.17-0.17-0.17-0.17-0.17 et 0.17) g
T ₃ ,T ₁₂ T ₁₀ ,T ₆ T ₁₄ ,T ₉ et T ₁₆	C	(0.09-0.06 - 0.05 – 0.05 – 0.04 – 0.04 et 0.04) g

Le facteur période, d'après le test de NEWMAN et KEULS, nous donne 03 groupes (A, B et C), pour les périodes (02,04 et 06) mois ; avec des moyennes obtenues respectivement de 0.22-0.10 et 0.06g.

Les résultats obtenus, montrent d'une part que les substrats de cultures ne produisent pas la même quantité de matière sèche racinaire (CV =24.2 %). D'autre part, on constate que les plants de Pin, présentant du poids sec du système racinaire élevé sont ceux installés sur milieux de culture à base des deux types d'aérateurs (sciure,

écorce) seuls (T₁₁,T₁₅)ou en mélange avec des éléments rétenteurs a s'avoir (litière mono,tourteaux d'olive,litière mixte);pour cela le PSS fluctue entre un minimum de 0.04g (substrat a base du tourteaux utilisés comme matière organique,T₁₆) et un maximum de 0.26g (mélange a base d'écorce,T₁₁).

Ainsi, la litière mixte seule (T₁₃), semble constitue un milieu favorable au développement des racines (PSS = 0.1670g). Les valeurs du coefficient de variation de 24.2% montre l'existence d'écarts entre les PSS produits sous les différents milieux,ce qui signifie que pour l'ensemble des mélanges,les conditions ne sont pas les mêmes, qui serait lie aux différents caractéristiques physicochimiques des mélanges (tableau n°08 en annexes).

On peut dire, a travers les résultats obtenus que plus le substrat est favorable (aération, taux de matière organique élevé), plus il y a un meilleur développement de la biomasse souterraine. Le PSS constitue un paramètre intéressant pour analyser la qualité du substrat. Ainsi sur les trois périodes la différence est nettement significative. Ce paramètre nous permis d'évaluer la faisabilité du milieu de culture et donc les possibilités d'une meilleure exploitation du substrat.

I-1-6-LGA :

Suite a une analyse de variance de LGA (longueur totale partie aérienne), on constate tout d'abord que ce paramètre a tendance de faire de différences significatives entre les traitements. Le test de NEWMAN et KEULS nous a permis, de classer nos résultats en deux grands groupes comme nous indique le tableau ci-dessous:

Tableau n°20 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₁₁ ,T ₄ et T ₁₅	A	(8.40 – 8.28 et 8.26)cm
T ₇ ,T ₅ ,T ₁ ,T ₈ et T ₂	AB	(7.87-7.73-7.57-7.54 et 7.26) cm
T ₁₃	BC	6.08cm
T ₁₆ ,T ₁₄ ,T ₃ et T ₉	CD	(4.89-4.79-4.33 et 4.13)cm
T ₁₀ ,T ₁₂ et T ₆	D	(3.92 – 3.69 et 3.57) cm

Les tableaux n°11,12 et 13 en annexes, montrent l'existante d' une variabilité importante dans la longueur totales partie aérienne , et cela en fonction du traitement ou mélange appliqué ,(CV = 19.5%). Les valeurs obtenues sur les trois périodes variant entre (4.10 et 8.53) cm avec une moyenne de 5.80 cm pour le 04 mois. Quant au type de substrat son effet est important sur la longueur totale partie aérienne, qui fluctue entre un minimum de 3.57cm et un maximum de 8.40cm. La

variation de leur valeur, est fonction de type de mélange (aérateur, rétenteur), selon l'importance régressive du LGA on enregistre les moyennes illustrées sur fig.17. Ces milieux de cultures a base des deux types d'aérateurs (écorce, sciure) semblent influençaient positivement la croissance phyllosphérique, plus précisément l'élongation de la partie aérienne des plantules du Pin. Ainsi on remarque l'effet positif de la litière mixte, sur la croissance de la partie aérienne du Pin. Par contre, il y a une inhibition de cette croissance , sous substrat a base d'une part de la litière mono seule ou en mélange avec les écailles, d'autre part les substrats a base d'écailles seules ou en mélange avec (L. mixte,,tourteaux. O). cet effet dépressif se traduit sur les différents milieux par une réduction da la croissance après l'utilisation de la litière mono + écailles; 3.57cm. Par contre, il y a un gain de 200%, d'élongation de la partie aérienne sous substrats a base de (sciure, écorce), par rapport, a l'utilisation de l'écaille comme aérateur. On peut dire a travers les résultats obtenus; que plus le substrat est aéré (écorce – sciure) ; riche en matière organique (litière mixte – litière mono), porosité total élevé, plus il y a un meilleur développement des plants (la partie aérienne).

I-1-7-LAP :

La réalisation de l'analyse de variance appliquée au LAP, complétée par le test de NEWMAN et KEULS, a révélé d'une part que les 16 combinaisons sont statistiquement très différents pour les deux facteurs; période et traitement. Le test de NEWMAN et KEULS a classé nos essais selon le critère LAP en deux grands groupes:

Tableau n°21 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₁₅	A	183.25cm
T ₄ ,T ₁₁ ,T ₅ ,T ₂ et T ₇	AB	(172.92 – 170.64 – 167.31 – 143.39 et 140.41) cm.
T ₈ et T ₁	B	(130.88 et 122.73).
T ₁₀ ,T ₉ ,T ₁₃ ,T ₃ , T ₁₆ , T ₁₄ , T ₁₂ et T ₆	C	(80.69 – 79.43 – 75.31 – 71.93 – 65.27 – 61.25 – 56.24 et 43.61)cm

D'autre part, le facteur période d'après Le test de NEWMAN et KEULS, nous donne 03 groupes (A, B et C), respectivement pour les périodes (02,04 et 06) mois.

Les résultats obtenus; indiquent d'une part que la longueur d'aiguilles par plant est également variable selon les périodes considérées et les milieux de cultures, d'un cote elles prends des valeurs moyennes de (183.15-93.29 et 54.55) cm, respectivement pour les périodes (06 mois, 04mois et 02 mois). De l'autre cote, les valeurs du LAP (longueur d'aiguilles par plant), sous l'effet des mélanges, fluctuent

entre un minimum de 43.61cm et un maximum de 183.25cm. Le coefficient de variation (CV=26.1 %) montre que les écarts entre les LAP produits sont importants, donc des rendements en surfaces foliaires, statistiquement très différents.

Particulièrement on observe des valeurs moyennes de LAP différentes (fig.18) à s'avoir le milieu de culture. Les mélanges essentiellement à base: d'écaillés seule ou avec les éléments rétenteurs, tourteaux. O, litière mono ; semblent diminuent approximativement la longueur d'aiguilles par plant presque en moyenne de 50 % à 450 % (fig.18).

Cette analyse de variance suivie du test de Newman et Keuls, a mis en évidence, l'importance des propriétés physicochimiques des mélanges sur la croissance en longueur d'aiguilles par plant (LAP) , d'une part, un effet très positif des écorces et des sciures, et dépressif pour l'écaillés. D'autre part, comme éléments rétenteur, on préconise la litière mixte par rapport, aux litières mono et les tourteaux d'olive.

I-1-8-LTS :

Suite à une analyse de variance du LTS, (longueur totale racinaire), sur l'ensemble des traitements les moyennes obtenues ; nous montre l'existence de différences significatives entre les différents milieux de cultures, et entre les périodes examinées. On constate donc ; que le LTS a tendance de faire de différences significatives entre les différents milieux de cultures. Ainsi, le test de NEWMAN et KEULS nous a permis de classer nos résultats selon ce critère, en deux grands groupes selon le tableau ci-dessous:

Tableau n°22 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₁₅	A	276.56cm
T ₅	B	245.45cm
T ₁₁	C	213.48cm
T ₈	CD	205.95cm
T ₄	DE	182.39 cm
T ₁ , T ₂ et T ₁₃	EF	(164.44 – 151.65 et 149.96) cm
T ₇	E	174.08cm
T ₉	F	138.66cm
T ₁₀ , T ₆ , T ₁₆ , T ₁₂ , T ₃ et T ₁₄	G	(47.71 – 45.20 – 43.81 – 42.85 – 35.63 et 28.42)cm

D'autre part le facteur période, d'après le test de NEWMAN et KEULS, nous donne 03 groupes homogènes suivants:

Tableau n°23 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Periode	Groupe	Valeurs moyennes
03	A	260.60 cm
02	C	91.15 cm
01	D	50.67 cm

L'examen de l'ensemble des résultats, fait montre que les moyennes obtenues sont statistiquement variables suivant la période et le type de substrat employé. La valeur élevée du coefficient de variation (CV = 21.51 %) indique l'existence de grands écarts dans la longueur totale partie souterraine sous l'effet de différents substrats de culture, pour la période d'expérimentation.

Les substrats qu'ont favorisés des longueurs totales importantes de la partie souterraine se classe, selon un ordre décroissant comme suit:

(sciure, litière mono + écorce) avec des valeurs de LTS respectivement de (276.56 – 245.45 et 213.48) cm. D'après la fig.19 ;les substrats a base d'aérateurs (écorce, sciure) seuls ou avec des éléments rétenteurs, ont approximativement favorisés un gain de LTS. De ces comparaisons on peut dire que les deux types d'aérateurs (sciure, écorce) semblent avoir un effet positif sur la longueur total des racines, contrairement a l'aérateur "écailles", cela d'une part et d'autre part le mélange de ces aérateurs au éléments rétenteurs a s'avoir (L. mixte, L. mono, tourteaux. O), a fait améliore le LTS des plants de Pin d'Alep, par rapport a l'utilisation des ces matières organiques seules.

I-1-9- LXS :

L'analyse de variance de LXS (longueur maximal partie souterraine), nous montre, que ce critère biométrique ; a tendance de faire des différences significatives entre, les effets de différents substrats de cultures. Ainsi, le test de NEWMAN et KEULS nous a permis d'identifier deux grands groupes selon le tableau suivant:

Tableau n°24 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₁₁ ,T ₄ ,T ₁₅ ,T ₇ ,T ₁ ,T ₈ ,T ₂ ,T ₁₃ et T ₅	A	(14.68-14.37-14.03-13.58-12.76-11.93-11.2600-11.0867 et 10.6250) cm
T ₁₆ ,T ₁₄ ,T ₉ ,T ₁₂ ,T ₃ T ₁₀ et T ₆	B	(6.42-6.42-6.23-5.23, 5.23-3.47 et 3.39) cm

D'autre part le facteur période, d'après le test de NEWMAN et KEULS nous donne la classification suivante:

Tableau n°25 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Periode	Groupe	Valeurs moyennes
03	A	13.13 cm
02	B	8.54 cm
01	C	6.59 cm

Nos substrats de cultures ont induit des valeurs moyennes de LXS (longueur maximal partie souterraine) présentant de grands écarts:les valeurs oscillent entre (3.39 et 14.68) cm, avec un CV = 24.3 %.

Les plants subissant l'influence des mélanges (T₁₁,T₄,T₁₅,T₇,T₁,T₈,T₂,T₁₃ et T₅), pour les quels on enregistre respectivement, des moyennes de : (14.68-14.37-14.03-13.58-12.76-11.93-11.26-11.09 et 10.63) cm. Ces substrats; sont a base d'une part des aérateurs (écorce, sciure) seuls ou avec les éléments rétenteurs, et d'autre part a base de la litière mixte, donnent les meilleurs valeurs moyennes du LXS, comparativement a l'aérateur, "écaille" seule ou mélangée aux éléments rétenteurs, la litière mono seule, tourteaux d'olivier seuls, sous les quels on a enregistre une diminution de la LXS.

Le facteur substrats de culture joue un rôle important sur la longueur maximale des racines. Ceci montre que la longueur maximale partie souterraine est très variable pour la même plante, en fonction de la période (l'age du plant) et traitement applique, a s'avoir un effet positif, d'une part sous les aérateurs (écorce, sciure) seuls ou combinés aux éléments rétenteurs, et d'autre part, un effet semblable, sous l'élément rétenteur (L. mixte).

I-1-10-NAP :

Comme pour le LXS, le NAP (nombre d'aiguilles par plant), nous avons également effectué une analyse de variance, suivi d'un test de NEWMAN et KEULS. On constate d'abord que les plants des différents essais ont tendance d'avoir des valeurs du nombre d'aiguilles par plant différentes significativement d'un traitement à l'autre. On effet, le test de NEWMAN et KEULS fait ressortir 02 grands groupes tableau ci-dessous :

Tableau n°26 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₄ et T ₁₁	A	(83.58 et 81.12) a/p
T ₈	AB	68.80 a/p
T ₁₅ et T ₇	ABC	(65.92 et 65.64) a/p
T ₁₂ , T ₂ et T ₁₀	ABCD	(61.36-55.80 et 54.64) a/p
T ₆ ,T ₁₄ ,T ₁ ,T ₅ ,T ₁₃ et T ₁₆	BCD	(46.52-42.22-41.42-41.05-40.94 et 38.70) a/p
T ₉	CD	33.85 a/p
T ₃	D	30.71a/p

Les moyennes obtenues, montrent que pour l'ensemble des substrats utilisés le nombre d'aiguilles par plant, varie entre 30.71 et 83.58 aiguilles/plant avec des moyennes de (33.71-51.45 et 74.65) a/p respectivement pour les périodes ; (02,04 et 06) mois. Les plants subissant l'effet des mélanges à base d'une part de l'écorce seule ou avec de (L. mono, tourteaux .O), et d'autre part de la sciure seule ou avec (L. mixte), sont les plus productifs en nombre d'aiguilles, que les éléments rétenteurs seuls à savoir (L. mono, L. mixte, tourteaux. O), qui donnent des valeurs du NAP moyennes. Des résultats similaires sont observés sous substrats de culture (écorce + L. mono, écorce + L. mixte, sciure + L. mono). L'aérateur écorce en mélange avec du : tourteaux. O, L. mixte; diminuent le nombre d'aiguilles par plant. La valeur du coefficient de variation 31.2%, fait ressortir d'une part l'écart existant en matière de production d'aiguilles entre les différents mélanges et d'autre part, certains de ces derniers ont donné des NAP (T₄,T₁₁,T₈,T₁₅ et T₇), presque 2.5 fois plus élevés, par rapport aux autres (T₃).

Donc, la surface foliaire, produite semble affectée positivement surtout (écorce, sciure) seuls ou combinés à un élément rétenteur (L.mixte), qui représente une litière améliorante, du point de vue fertilité physicochimique du sol.

I-1-11- R1 (PSS/PSA) :

Les résultats obtenus pour ce paramètre R1 (PSS/PSA), bien que retenu parfois comme indicateur de la résistance à la sécheresse, ne permettent pas de différencier entre les différents effets des mélanges testés. L'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative entre les traitements ni entre les trois périodes. Ceci suggère que ce paramètre est sous contrôle d'une balance de répartition des assimilats entre les deux parties de la plante. Ces résultats confirment ceux de HEITHOLT (1989) in SAYER et al 2004. Donc les plantes présentent en quelque sorte, un équilibre entre la partie aérienne et souterraine.

I-1-12- R2 (LTS/LXS) :

On observant les résultats de l'analyse de variance appliquée au R2 (LTS/LXS), suivi d'un test de NEWMAN et KEULS, on déduit que les différents mélanges ont donné des rapports R2 différents. Ainsi, le test de NEWMAN et KEULS appliqué au facteur traitement fait apparaître 02 grands groupes (Tableau en bas):

Tableau n°27 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₅	A	22.08
T ₁₅	AB	19.24
T ₉ , T ₈ , T ₆ , T ₁₁ , T ₂ , T ₁₀ T ₁₃ , T ₇ , T ₁ , T ₁₆ , T ₄ et T ₁₂	ABC	16.50-16.20-14.32-13.87-13.06-12.91-12.22-11.74-16.67-11.39-11.02 et 7.90
T ₃	BC	5.67
T ₁₄	C	4.70

Ainsi le test de NEWMAN et KEULS appliqué au facteur période, montre qu'il y a de différences significatives et fait apparaître deux groupes:

Tableau n°28 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Période	Groupe	Valeurs moyennes
03	A	21.71
02	B	10.06
01	B	6.64

La valeur très élevée du coefficient de variation (CV=54.5%), indique que les écarts pour ce paramètre entre les mélanges, sont beaucoup plus importants.

L'examen des résultats des analyses statistiques, fait apparaître, un effet très satisfaisant des aérateurs, sciure, écorce et des éléments rétenteurs litière mixte et la litière mono. L'effet combine de ces deux derniers avec la sciure nous a donné les meilleurs résultats.

I-1-13- SRL :

L'analyse de la SRL (Finesse racinaire), fait ressortir que; les différents mélanges ont donné des SRL significativement différents, d'un milieu à un autre. On effectue le test de NEWMAN et KEULS, fait apparaître 02 grands groupes:

Tableau n°29 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Traitement	Groupe	Valeurs moyennes
T ₉	A	2236.40 cm/g
T ₁₅	AB	1775.22 cm/g
T ₅	BC	1389.85 cm/g
T ₁₆ , T ₆ , T ₁₄ , T ₈ , T ₇ , T ₂ , T ₁ et T ₄	BCD	(1285.02-1220.95-1182.55-1104.97-925.34-910.38-891.74 et 830.27) cm/g
T ₁₁ , T ₁₀ , T ₁₃ et T ₁₂	CD	(804.21-772.84-742.38 et 652.73) cm/g
T ₃	D	322.66 cm/g

Ainsi, on appliquant le test de NEWMAN et KEULS sur le facteur "période" on aboutit au groupes suivants:

Tableau n°30 : Classification et valeurs moyennes d'après le test de NEWMAN et KEULS

Periode	Groupe	Valeurs moyennes
03	A	1674.67 cm/g
02	B	829.02 cm/g
01	B	692.72 cm/g

Pas de différences importantes entre ces la première et la deuxième période. Les données observées, fait ressortir que le type de substrat, à une influence importante sur la variable, "finesse racinaire "(SRL). Pour cela elle fluctue entre un minimum de 322.66 cm/g (T₃) et un maximum de 2236.40cm/g (T₉).

Quant aux mélanges (tourteaux. O+ écailles, sciure, sciure + L. mono) (T₅,T₁₅,T₉),ils induit des SRL, presque 03 fois plus important par rapport aux substrats a base de (témoin,écaille) (T₁₀ et T₁₂). Ainsi ,les traitements (T₁₆,T₆,T₁₄,T₈,T₇,T₂,T₁ et T₄) semble joue un effet positif sur l'augmentation de la finesse racinaire,par rapport aux traitements,(T₁₁,T₁₀,T₁₃,T₁₂, et T₃). La valeur de coefficient de variation pour ce paramètre (CV = 46.6%) indique que les écarts entre les mélanges en ce qui concerne la SRL sont très importants.

Conclusion:

L'analyse statistique des mesures biométriques effectué sur les 13 indicateurs de croissance, des plantules de Pin d'Alep, a fait ressortir 09 groupes de substrats; à s'avoir (T₅, T₁₅, T₁₁, T₄, T₈, T₇, T₂, T₁ et T₁₃), qui présentent des valeurs assez bonnes. Le reste des substrats (T₁₄, T₁₂, T₁₆, T₃, T₉, T₆ et T₁₀), ne présentent que des valeurs juste moyennes, ou inférieures à la moyenne générale.

Ces différences de croissance semblent être dues, aux caractéristiques physicochimiques des différentes mélanges, surtout (aération, porosité totale, taux de matière organique,...), (Tableau n° 08). Pour cela l'utilisation de l'écorce, la sciure en tant qu'élément aérateur, et de la litière surtout mixte (élément rétenteur), ou le mélange de ces deux éléments, a réalisé des performances supérieures au témoin (sol seul). Donc, les produits organiques locaux ont montré des performances remarquables confirmées par les analyses au laboratoire. Les caractéristiques morphologiques et pondérales (hauteur, diamètre et biomasse) des plants élevés sur ces mélanges sont généralement conformes aux normes préconisées ;(il est jeune-plus fort au collet avec un bon équilibre racine/tige, bien conformé avec une tige

droite non fourchue et un système racinaire développé, sans déformation – il est sain donc sans maladie avec un beau bourgeon terminale)

A cet égard, l'écorce ou la sciure, ont joués un grand rôle dans la confection des mélanges binaires, comme, nous avons rapporté (LEMAIRE, et al, 1989).

I-2- Etude morphométrique :

I-2-1- Action du type de mélange sur les caractéristiques dimensionnelles et pondérales des plantes:

Des observations et des estimations racinaires, ont été effectuées chaque 02 mois. Les résultats obtenus, après l'étude biométrique (tableaux n° 11, 12,13 et 14 en annexes), montrent la présence d'une variabilité morphométrique importante concernant les caractéristiques de l'enracinement chez les plants de Pin d'Alep sous les différents substrats expérimentaux.

A- La longueur total des racines (LTS) :

Elle traduit une extension et/ou une ramification du système racinaire qui favorise la colonisation d'un plus grand volume de sol, rendant plus accessible à la plante les réserves en eau (et en éléments nutritifs) du sol (Benlaribi et al. 1990) in Sayer et al 2004. Pour ce paramètre (Fig.03, 04 et 05), les plants de Pin d'Alep ont présentes la valeur la plus élevée, qui se classe en tête de LTS de 276.56 cm sous l'aérateur (sciure), suivie de mélanges a base de (sciure + litière mono ; écorce, sciure + tourteaux.o, écorce + litière mono ; écorce + tourteaux. o, écorce + litière mixte ; sciure + l. mixte; l.mixte, écailles + tourteaux d'olivier), ont également favorises une émission racinaire importante respectivement de (245.45 – 213.48 – 205.95 – 182.39 – 174.08 – 164.44 – 151.65 – 149.69 et 138.66)cm ;la majorité des plants développent un chevelu racinaire dense et des coiffes blanches colonisant parfaitement le substrat. Sous le traitement témoin ou autre substrat a base d'aérateur, comme l'écaille seule ou en mélange avec des éléments rétenteurs à savoir (litière mixte, litière mono) d'une part, ou sous l'effet de la matière organique seule (tourteaux d'olivier, litière mixte, litière mono) d'autre part, l'émission racinaire est réduite d'environ 50 % a 100 %. Sous le sol seul (témoin), une valeur inférieure à la moyenne générale de l'ordre de 47.71 est enregistrée. Sous l'aérateur, tourteaux d'olivier ; l'émission racinaire est très réduite; LTS = 43.81 cm (tableaux n°11, 12,13 et 14 en annexes).

Le maintien d'une longueur racinaire élevée, permet une meilleure accessibilité à l'eau de la plante. Les plants de Pin d'Alep, paraissent avoir cette aptitude sous substrats a base d'aérateurs de type (écorce ou sciure), utilisés seuls ou en mélange avec les éléments rétenteurs a savoir (tourteaux d'olivier, litière mixte, litière mono).

L'effet des deux types d'aérateurs, sciure ou écorce ; s'avère positif puisqu'elles augmentent La longueur total des racines, suite a une forte ramification de celles-ci .Le rétenteur (L. mixte), semble avoir, le même effet que le précédent.

B- La finesse racinaire (SRL):

La finesse racinaire ou longueur spécifique des racines est estimée par le rapport de la longueur total des racines à la matière sèche racinaire (PSS).

Les résultats obtenus pour ce paramètre montrent que, les substrats (écaillles + tourteaux d'olivier ; sciure ; sciure + litière mono ; tourteaux d'olivier ; écaillles + litière mono ; litière mono ; sciure + tourteaux d'olivier); ont présentes des effets positifs sur les plantules de Pin, en ce qui concerne ce paramètre aussi on a enregistres les valeurs moyennes respectivement de (2236.40 – 1775.22 – 1389.85 – 1285.02 – 1220.95 – 1182.55 –1104.97) cm/g, (tableaux n°11,12,13 et 14 en annexes).

Les résultats, montrent que sous l'aérateur (écorce) seul ou en mélange avec de (la litière mixte, litière mono, tourteaux d'olivier), d'une part ou de la sciure en mélange avec les des éléments rétenteurs a s'avoir (L. mixte), d'autre part, paraissent avoirs des effets dépressifs sur les plants de pin d'Alep pour ce descripteur de la croissance (SRL); qui se traduit par des valeurs de SRL inférieurs a la moyenne générale. Le même effet a été enregistré sous les substrats (témoin, écaillles et écaillles + L.mixte). Le sol a donné une valeur de SRL de l'ordre de 772.84 cm/g qu'est inférieur a la moyenne générale.

Ces caractéristiques peuvent être très bénéfiques sur deux plans, favorisant une meilleure extension du système racinaire et conservant l'humidité du sol pour un meilleur développement de la plante (partie aérienne) en cas du stress hydrique.

Cette dernière caractéristique s'avère d'une grande importance dans la mesure où elle permet une meilleure adaptation des plantes aux conditions du milieu; (substrat de culture). Chez les plants de Pin, et en présence de substrat favorable, la matière sèche allouée pour la production de racines ramifiées a été importante. En présence des éléments rétenteurs (litière mixte – litière mono) ou éléments aérateurs (sciure – écorce) ou la combinaison des deux..., les racines ont tendance à s'allonger davantage et les plants se caractérise par un système racinaire plus long permettant d'approvisionner la plante en eau d'une façon continue.

C- La matière sèche racinaire (PSS) :

D'après les figures (Fig.09 ,10 et 11),Les plantules de Pin d'Alep, ont tendance à accumuler beaucoup plus de matière sèche dans leurs racines sous l'effet du mélange, (écorce ou T₁₁) , avec PSS , la plus élevée de 0.26 g. Sous mélange a base de d'écorce ou sciure seul ou avec les éléments rétenteurs, les plants de Pin, ont accumulés aussi une quantité importante de matière sèche dans leurs racines

"(avec des valeurs enregistrées variant entre un minimum de 0.17g (écorce + litière mixte) et un maximum de 0.21g (écorce + litière mono) " alors qu'elles n'ont pas gardé cette caractéristique sous l'effet des substrats à base d'écaillés seuls ou en mélange avec les tourteaux d'olivier, pour cela on a enregistré des valeurs moyennes ; jusqu'à 04 fois plus réduites (écaillé), que celles sous l'écorce ou la sciure (tableaux n° 11,12,13 et 14 en annexes).

Les mélanges (écaillés + litière mixte, écaillés, témoin, écaillé + litière mono ; litière mono ; écaillés + tourteaux d'olivier ; tourteaux d'olivier), semblent accumuler de plus faibles quantités de matière sèche dans leurs racines, avec des valeurs moyennes respectivement de (0.09 – 0.06 – 0.05- 0.05 – 0.04 – 0.04 et 0.04) g. la plus petite valeur de PSS a été enregistrée sous l'aérateur (tourteaux d'olivier); est de l'ordre de 0.04 g. Le caractère recherché est la souplesse du système racinaire avec un système restreint sous conditions favorables et plus important sous stress (surtout hydrique).

Les substrats à base d'aérateur (écorce ou sciure), seuls ou avec des éléments rétenteurs (litière mixte ; litière mono ; tourteaux d'olivier), d'une part et d'autre part la matière organique seule (litière mixte) ; semblent avoir l'aptitude de développer un système racinaire plus important. Le sol a donné une valeur de la biomasse racinaire inférieure à la moyenne générale, de l'ordre de 0.05g. Le maintien cette caractéristique sous différents stress (surtout hydrique), est très importante.

D- La longueur maximale des racines (LXS) :

Ce caractère indique un enracinement profond permettant de pomper l'eau en profondeur lorsque celle-ci est limitée dans les couches superficielles du sol et même si cette profondeur n'est atteinte que par une seule racine principale (Ali Dib et al. 1992) in Sayer et al 2004. On observant (les tableaux n°11,12,13 et 14 en annexes), on constate que les substrats à base d'aérateurs (écorce , sciure), seuls ou (écorce ; écorce + litière mono ; sciure ; écorce + tourteaux ; écorce + litière mixte ; sciure + tourteaux ; sciure + litière mixte ; litière mixte ; sciure + litière mono), ont favorisés chez les plants de Pin d'Alep des taux de LXS , plus importants supérieurs à la moyenne générale, respectivement de (14.68 – 14.37 – 14.03 – 13.58 – 12.76 – 11.93 – 11.26 -11.09 et 10.63)cm. Contrairement, l'aérateur "écaillé " seul ou avec de (la litière mixte, les tourteaux d'olivier, litière mono), ont réduit le LXS de 70 % par rapport à la moyenne générale. Le rétenteur (L. mixte), semble avoir un effet positif sur cet indicateur de croissance.

Les plants de Pin, ont montrés une réponse défavorable, aux traitements (témoin, écaillés + litière mono), avec des valeurs moyennes de LXS enregistrés

respectivement de (3.47 – 3.39) cm. Le taux de LXS, le plus réduit, est enregistré sous l'effet de l'aérateur « tourteaux d'olivier ». L'effet du sol, se traduit par une longueur maximale racinaire très réduite, de 3.47cm.

Les substrats à base d'aérateur (écorce, sciure) ; s'avèrent plus intéressants, et se caractérisant par une tendance d'avoir des effets positifs sur le développement des racines ; plus longues. Donc, de cette remarque et celle de PSS on peut dire que la matière sèche orientée vers les racines est destinée à l'accroissement en longueur des racines. Ceci explique en partie les résultats de Daniels et al. (1982) in Sayer et al 2004 qui ont montré que certaines variétés à paille haute résistaient mieux à la sécheresse en raison d'une plus grande disponibilité des assimilats. Or, la remobilisation des assimilats nécessite la présence de l'eau, laquelle ne peut être disponible qu'aux plantes capables de l'extraire profondément dans le profil. Cette voie implique le développement de racines plus longues. Cependant, la longueur des racines du Pin pose le problème de choix du "substrat". La sélection d'un bon substrat (bonnes caractéristiques physicochimiques) peut être un moyen efficace pour la sélection indirecte à la longueur des racines.

E- Le rapport de matière sèche entre les racines et la partie aérienne (R1) :

Les résultats obtenus pour ce paramètre, bien que retenu parfois comme indicateur de la résistance à la sécheresse, ne permettent pas de différencier entre les différents effets des mélanges testés. L'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative entre les traitements ni entre les trois périodes. Ceci suggère que ce paramètre est sous contrôle d'une balance de répartition des assimilats entre les deux parties de la plante. Ces résultats confirment ceux de HEITHOLT (1989) in Sayer et al 2004.

F- Le rapport entre la longueur total des racines et la longueur maximal racinaire (R2) :

Ce caractère indique la distribution des racines le long de la racine la plus longue et traduit une ramification du système racinaire qui favorise la colonisation d'un plus grand volume de sol, pour une meilleure exploitation de ce dernier. Les résultats obtenus pour ce paramètre, permettent de différencier entre les différents mélanges testés. L'analyse de la variance révèle une différence significative entre les substrats. Pour cela, on a enregistré des valeurs moyennes de R2 supérieures à la moyenne générale de (22.08 – 19.24 – 16.50 – 16.20 – 14.32 – 13.87 – 13.06 et 12.91), respectivement sous l'influence des substrats (sciure + litière mono, sciure, écaillles + tourteaux. o ; sciure + tourteaux. o, litière mono + écaillles ; écorce, litière mixte + sciure ; témoin). On observant ces résultats, on constate que la sciure + litière mono se classe en tête des substrats avec un rapport LTS/LXS égale à 22.08 se qui

traduit l'effet bénéfique de cet aérateur sous lequel; les plantules de Pin d'Alep, ont tendance à coloniser par leur système racinaire un volume du sol plus élevé. Par contre, les mélanges (litière mixte, écorce + tourteaux .o, écorce + litière mixte, tourteaux .o, écorce + litière mono, écailles, litière mixte + écailles, litière mono), ont réduits le R2 de 50% jusqu'à 200 %, qui peut être la cause ; d'un manque de porosité des mélanges et a la texture argileux de notre sol, (tableaux n° 08 en annexes), le résultat ; d'une inhibition de la croissance racinaire au profit de celle aérienne. L'aérateur (Sciure), seul ou en mélange avec de la matière organique (tourteaux d'olivier ; litière mono), semblent avoir l'aptitude de développer chez les plants de Pin d'Alep ; un système racinaire plus important. L'aérateur « écorce » seul, augmente le R2, par rapport à la moyenne générale.

La différence entre les multiples valeurs moyennes du rapport R2, induit par les différents mélanges testés ; fait ressortir que la différence de croissance entre les racines et la partie aérienne était affectée par les conditions du milieu (substrat par ses caractéristiques, physicochimiques a savoir le déficit hydrique, perméabilité, texture...etc.

G- Poids frais partie souterraine (PHS) :

Les plantules de Pin d'Alep (Fig.06,07 et 08), ont tendance à avoir un poids humide plus élevé donc a accumuler beaucoup plus d'eau, dans leur tissus racinaire par rapport au témoin sous l'effet des substrats a base d'aérateurs (écorce, sciure) seuls ou en mélange avec de la matière organique, pour cela les valeurs de PHS enregistrées sont (0.27 – 0.24 – 0.23 – 0.21 – 0.20 -0.20 -0.19 – 0.18) g respectivement pour (écorce ; écorce + litière mono; sciure ; écorce + tourteaux ; sciure + litière mono; litière mixte ; écorce + litière mixte; sciure + litière mono; sciure + litière mixte) ,contre 0.07g pour le témoin. Ainsi, l'élément rétenteur (L. mixte), a un effet positif sur ce paramètre. Ainsi, l'utilisation de l'écaille seul ou avec (litière mono; litière mixte, tourteaux .O), semble favorise l'accumulation de faibles quantité d'eau dans les tissus végétaux (partie souterraine). Donc, l'utilisation des écailles comme aérateur; semble avoir un effet dépressif sur la quantité d'eau accumulée dans les tissus racinaires (tableaux n° 11,12 et 13 en annexes). Les éléments rétenteurs, (L.mono, Tourteaux.o), ont réduit le PHS, par rapport a la moyenne générale; ainsi le même effet est enregistre sous le témoin, avec un PHS de 0.07g.

H- Diamètre au collet (DMC) :

Pour ce descripteur de croissance, exprime par le diamètre au collet, est élevé chez les plantules de Pin d'Alep, qu'ont subi l'influence des mélanges (sciure + litière mono; sciure ; écorce ; écorce + litière mono; sciure + tourteaux ; écorce + tourteaux

; sciure + litière mixte; écorce + litière mixte; litière mixte), avec des valeurs moyennes de DMC (diamètre au collet) respectivement de (0.80 – 0.79 – 0.77 – 0.75 – 0.74 – 0.74 – 0.71 – 0.71 – 0.67)mm.

D'une part, on observant ces résultats, on constate que l'aérateur, sciure en mélange avec de la litière mono, se classe en tête, 0.80 mm ,donc deux fois plus productif que celui de l'autre aérateur, écorce en mélange avec la litière mono (0.3948 mm).

D'autre part, l'aérateur écorce seul ou en mélange avec (litière mono, tourteaux d'olivier, litière mixte), avec des valeurs de DMC enregistrées, respectivement de (0.7680 – 0.7490 – 0.7430 – 0.7373) mm, paraît à un effet favorable sur la croissance en diamètre des plants. Ainsi, l'effet positif de l'élément rétenteur, « litière mixte » se traduit par une augmentation du DMC, par rapport à la moyenne générale, avec une valeur de l'ordre de 0.37mm. Par contre, l'aérateur écaille seule ou en mélange avec de la matière organique à savoir (litière mixte, Litière mono, tourteaux) a diminué la croissance en diamètre par rapport à la moyenne générale approximativement de 50 % moins productifs. La litière mixte, se constate par son effet positif sur la croissance en diamètre, elle est presque deux fois plus productive que le témoin. L'élément rétenteur, (L. mono), a donné une valeur faible de DMC de 0.50mm.

I- Poids sec partie aérienne (PSA) :

Les figures n° 09, 10 et 11 ; montrent des effets très positifs, des deux types d'aérateurs, la sciure et l'écorce seuls ou en mélange avec de la matière organique (litière mixte, Litière mono, tourteaux). La sciure en mélange avec les tourteaux d'olivier, a donné la meilleure production en matière sèche, de l'ordre de 0.31 g, suivie par l'écorce, 0.22 g. L'écaille, par rapport aux aérateurs précédents, s'avère à un effet dépressif sur le PSA, avec une valeur moyenne enregistrée seulement de 0.09g (03 fois moins productive) que l'écorce et la sciure. D'une part, sous l'effet des substrats, (sciure + litière mixte; litière mixte ;sciure + litière mono; écorce + litière mono; écorce + tourteaux ; écorce + litière mixte ; sciure) ,des valeurs moyennes importantes de PSS ,sont constatés , respectivement de (0.19 – 0.18 – 0.18 – 0.18 – 0.17 – 0.15 – 0.15)g ,(tableaux n°11,12,13 et 14 en annexes).

D'autre part, l'écaille seule ou (écaille + litière mixte ; écaille + tourteaux ; écaille + litière mono), paraît diminuer le PSS chez les plantules de Pin par rapport à la moyenne générale, mais en comparaison avec les substrats à base d'écorce ou sciure, ces dernières semblent mieux et beaucoup plus favorables pour la croissance aérienne des plants. Les éléments rétenteurs (L.mono – Tourteaux.o), comme pour

le témoin, ont montré un effet dépressif sur cet indicateur de croissance. La plus faible moyenne constaté de PSS est attribuée au aérateur tourteau d'olivier.

Ceci peut être dû, à une augmentation de la matière sèche de la partie aérienne, suite à une plus grande disponibilité d'assimilats.

J- Nombre d'aiguilles par plant (NAP) :

On constate d'après les figures 12, 13 et 14 que les trois types d'aérateurs (écorce, sciure et écailles), ont améliorés la production de NAP, par rapport à la moyenne générale, avec des valeurs respectivement de (81.12 – 65.92 et 61.36). Les substrats (écorce + litière mono; écorce ; sciure + tourteaux; sciure ; écorce + tourteaux ; écailles ; sciure + litière mixte) ont été les plus productifs, en nombre d'aiguilles par plant. Ceci s'explique par des valeurs moyennes, importantes (supérieures à la moyenne générale) enregistrés de NAP respectivement de (83.58 – 81.12 – 68.80 – 65.92 – 65.64 – 61.36 – 55.80) aiguille/plant. L'écorce seule ou avec la litière mono a produit une moyenne de 83.5833 aiguilles/plant, 30 % plus productif que le témoin, suivie de la sciure seule ou en mélange avec les tourteaux d'olivier, avec une amélioration du NAP par rapport au témoins de 15 %.

Les deux éléments rétenteurs (Tourteaux d'olive – Litière mixte), en mélange avec la sciure, semblent avoir des effets positifs sur l'indicateur de croissance NAP, cela d'une part et d'autre part (Tourteaux d'olivier – Litière mixte), combinés à l'écorce, ont produit une augmentation du NAP. L'observation des (tableaux n°11, 12, 13 et 14 en annexes), fait apparaître l'effet dépressif de l'écailles utilisés en mélange avec (Tourteaux d'olivier – Litière mixte- litière mono), avec des valeurs inférieures à la moyenne générale respectivement de (46.52- 33.85- et 30.71), ainsi les trois types d'éléments rétenteurs (Tourteaux d'olivier - Litière mixte- litière mono), utilisés seuls, ont diminué, la production foliaire. En effet, les substrats à base d'écorce et sciure donnent de bons rendements en matière de NAP.

K- Poids frais partie aérienne (PHA) :

On constate que les substrats à base d'aérateurs (écorce, sciure) seuls ou en mélange avec de la matière organique à savoir (Ecorce, écorce + litière mono ; litière mono + sciure, sciure, écorce + tourteaux; litière mono ; écorce + litière mixte ; sciure + tourteaux. O ; sciure + litière mixte), ont tendance à accumuler chez les plants de Pin d'Alep plus d'eau dans leur tissus (partie aérienne) respectivement de (0.47 – 0.40 – 0.37 – 0.37 – 0.35 – 0.34 – 0.34 – 0.33 – 0.32) g. Contrairement à l'aérateur (écaille), seul ou avec de (la litière mixte, litière monospécifique ou tourteaux. O), et comparativement à la moyenne générale, il y a une diminution du PHA, pour cela des valeurs moyennes de (0.25 – 0.17 – 0.12 – 0.12 – 0.12 – 0.11 – 0.09) g, sont attribuées aux substrats (T₁₃, T₁₂, T₉, T₁₆, T₃, T₆ et T₁₀), donc ces derniers ont réduit le PHA jusqu'à 50%. D'autre part, la litière mixte, semble avoir un effet dépressif sur

l'accumulation de l'eau dans la partie aérienne (0.25 g seulement), cela peut être due aux L'observation des (tableaux n°11, 12,13 et 14 en annexes), fait ressortir que le sol (témoin), constitue une contrainte a l'alimentation des plants de Pin d'Alep en eau, (PHA) = 0.09g.

L- Longueur de la partie aérienne (LGA) :

On observant les figures n° 03 ,04 et 05 ; presque tous les substrats, a base des deux types d'aérateurs (écorce, sciure) seuls ou en mélange avec les éléments rétenteurs a s'avoir (écorce, écorce + litière mono; écorce ; sciure ; écorce + tourteaux ; sciure + litière mono ; écorce + litière mixte ; sciure + tourteaux .O, sciure), ont tendance a favoriser une augmentation de la longueur de la partie aérienne chez les plants de Pin avec des taux de LGA respectivement de (8.40 – 8.28 – 8.26 – 7.87 – 7.73 – 7.57 – 7.54 – 7.26) cm. 6.14 cm ; est la valeur moyenne observée sous l'effet de la litière mixte. Les plants présentent en général un développement aérien très important. Il ne se limite pas à la seule croissance en hauteur de la tige principale, mais aussi la bonne vigueur de ces plants. Par contre ; les mélanges a base de l'aérateur « écailles » seul ou combiné au (litière mixte ; tourteaux .O, litière mono), semblent diminuer le LGA comparativement aux substrats précédents, (tableaux n°11, 12,13 et 14 en annexes). Le témoin réduit le LGA de 50% par rapport à la moyenne générale.

M- Longueur totale d'aiguilles par plant (LAP) :

L'observation des figures (12 ,13 et 14), montre; le que les plants de Pin d'Alep ont présentés la valeur la plus élevée de LAP de l'ordre de 183.25cm sous substrat a base de sciure seule, donc il y a un dédoublement d'élongation des aiguilles par rapport au témoin. Les deux types d'aérateurs, (écorce, sciure) seuls, ou combinés aux éléments rétenteurs, a s'avoir, (écorce + litière mono; écorce ; sciure + litière mono ; sciure + litière mixte ; écorce + tourteaux .O, sciure + tourteaux.o ; écorce + litière mixte), ont également favorise une élongation des aiguilles très importante par rapport a la moyenne générale, respectivement de (172.92 – 170.64 – 167.31 – 143.39 – 140.41 – 130.88 – 122.73) cm.

L'écailles seuls ou combinés au (litière mixte, litière mono, tourteaux.o), d'une part, ou ces trois derniers éléments rétenteurs, seuls de l'autre part, ont conduit a une diminution du LAP, donc ont été moins productifs, par rapport a la moyenne générale.

Conclusion:

L'étude de l'effet des différents substrats de cultures sur le développement racinaire des jeunes plants de Pin d'Alep, révèle un comportement différent de la partie souterraine; la divergence s'observe au niveau de chaque paramètre mesuré, période considérée et milieu de culture testé.

En effet, durant toute la période expérimentale, les milieux à base des deux types d'aérateurs (écorce, sciure) seuls ou en mélange avec les éléments rétenteurs à s'avoire (L.mixte, L.mono, tourteaux d'olivier), ont eu des effets très nets sur l'accélération de la vitesse d'accumulation de la matière sèche racinaire et aérienne, l'élongation des deux parties, la finesse racinaire. Alors que ceux à base d'aérateurs (écaillés, tourteaux d'oliviers) ; présentent le statut inverse. L'écart est plus accentué dans ces milieux, pour cela on enregistre des valeurs moyennes de PSS, SRL, LTS parfois très réduites que celles des précédents (tableaux n° 11, 12,13 et 14 en annexes).

On peut dire que l'évolution des choses au cours de cette phase n'est guère au profit des plants installés sur substrats, mal aéré, porosité totale faibles et parfois à un faible taux de matière organique, qui terminent leur croissance par des pertes de matière sèche et d'extension racinaire (tableaux n°11, 12,13 et 14 en annexes) ; probablement dues aux mauvaises caractéristiques physicochimiques de ces derniers (tableaux n° 08 en annexes). Par contre, les plants de Pin d'Alep ; manifestent plus satisfaisants en milieux bien aérés et fertiles et semblent récupérer davantage. Il apparaît donc que le substrat joue un rôle primordiale, sur le développement des végétaux.

On distingue deux groupes de facteurs susceptibles d'agir sur la croissance et le développement du système racinaire ; les facteurs externes et les facteurs internes parmi lesquels ; Les facteurs du milieu (facteurs externes) ; qui semblent avoir une action sur le développement du système racinaire sont : - La texture et la composition chimique du sol, L'aération du sol et le drainage, Les disponibilités en eau, La température, La microflore et la microfaune du sol, Les blessures des racines.

Il semble bien difficile de dissocier ces facteurs, car leur action est le plus souvent combinée dans les milieux de cultures. La difficulté de coordonner les divers renseignements vient de ce que le pin d'Alep a un système racinaire mal défini. Cette hétérogénéité de développement est en général calquée sur l'hétérogénéité de la texture du sol et de ses disponibilités en eau et en éléments nutritifs.

I-3- Action du type de mélange sur les caractéristiques morphologiques des plantes:

On a pu constater l'incidence de type du mélange sur l'architecture racinaire des plants et cela par une analyse visuelle des critères de conformation et d'état sanitaire (Photos en annexe ; T1, T2...T21) ainsi que des critères d'âge et de dimension, (Tableau n°31). En se basant sur des modalités pratiques du contrôle et d'après (Office national des forêts, 1990), on peut dire qu'un lot de plants doit comporter au moins 95% de plants de qualité loyale et marchande. La qualité loyale et marchande est déterminée par les critères décrits ci-dessus.

Pour les plants qu'ont été installés sur milieux à base de plumes ou de tourteaux d'olivier utilisés comme aérateurs, ils présentent des indices d'échauffement, de fermentation ou de moisissures. Il faut comprendre, l'odeur caractéristique de fermentation, un changement de coloration des aiguilles, la présence manifeste des moisissures sur les parties aériennes et les racines, un bleuissement des tissus internes des racines principale.

Le substrat à base de l'aérateur (écailles) seul ou combiné aux différents rétenteurs à savoir (L. mixte, L. mono, tourteaux d'olivier) ou ces derniers seuls, n'ont pas empêchés la spiralisation des racines latérales. On observe une forte accumulation des racines autour de la motte, la masse racinaire est comprimée et déformée.

Ainsi, on a constaté sur les plants un système racinaire très déficient ; car le substrat compact (présence de terre sur les racines après déterrement). D'autre part, ces derniers ; présentent des pivots sans ramifications latérales, qui n'est pas acceptable (type de substrat argileux), et des racines principales gravement enroulées ou tordues, il y a des défauts rédhibitoires : racines en cor de chasse, en S, en J, et plus généralement racines formant un angle égal ou supérieur à 110° avec la tige. Ainsi, l'effet négatif de ces milieux se traduit sur les plantules par l'absence des radicelles et parfois sont gravement amputées (manque de chevelu racinaire), ce qui a engendré dans certains cas, un dessèchement partiel de la tige ou des parties racinaires ; (photos, en annexes). En revanche, les plants élevés sur substrat présentant des caractéristiques surtout physiques bonnes (tableau n° 08), à savoir (T11, T4, T15 T7, T5, T1, T8 et T2), ne présentent pas de spiralisation racinaires et des défauts rédhibitoires. Les racines primaires colonisent bien la motte, système racinaire bien développé (racines primaires nombreuses) ; indice d'une meilleure aération du substrat).

Les résultats du tableau n° 31, concernent l'évaluation des divers types de déformations racinaires provoquées par l'élevage sous les différents types de substrats, résume ces constatations.

Il semble évident d'après ces résultats, que le substrat doit être chimiquement et surtout physiquement favorable pour recevoir sans contrainte, toute la capacité de production racinaire de l'espèce pendant toute la durée de séjour du plant dans ce pot.

Tableau n° 31 : Contrôle du système racinaire sur les plants élevés sur différents milieux de culture.

Types de substrat	Types de déformations			
	Remontées des racines latérales (non rédhibitoire)	Spiralisation des racines latérales (rédihibitoire)	Présence de crosse (non rédhibitoire)	Pivot tordu (non rédhibitoire)
T1	/	/	/	/
T2	/	/	/	/
T3	/	X	X	/
T4	/	/	/	/
T5	/	/	/	/
T6	/	X	X	/
T7	/	/	/	/
T8	/	/	/	/
T9	/	X	X	/
T10	/	/	X	X
T11	/	/	/	/
T12	/	X	X	X
T13	/	/	X	/
T14	/	/	X	/
T15	/	/	/	/
T16	/	/	X	X

- présence de déformation (x)

- absence de déformation (/)

Conclusion générale

L'analyse physico-chimique des mélanges fabriqués à base des matériaux locaux a montré et confirmé que leurs performances sont importantes. Le sol utilisé (témoin) quant à lui, présente des performances inférieures aux normes exigées pour les substrats de référence, notamment du point de vue richesse en matière organique, taux d'aération et porosité totale. On a constaté que, cet handicap généralement peut être corrigé, d'une part par le choix d'une terre végétale plus riche en matière organique et d'autre part par l'addition des fertilisants selon les besoins nutritifs de la plante, au cours du cycle d'élevage. Par ailleurs, il est possible de résoudre le problème de la porosité totale, en jouant sur les proportions des mélanges (en augmentant le pourcentage de l'élément aérateur dans le mélange).

Donc, le faible taux de croissance enregistrée pour les mélanges à base de la terre végétale, peut être expliquée par le faible taux de la matière organique qu'elle contient et surtout par sa porosité totale inférieure aux normes exigées dans ce domaine (75 à 95%).

En ce qui concerne les caractères morphologiques des plants, les résultats obtenus pour la croissance en hauteur font ressortir 08 substrats, présentent des performances morphologiques (hauteur) conformes aux normes de qualités exigées dans ce domaine (T11, T4, T15 T7, T5, T1, T8 et T2). Les plants de ces substrats présentent également, des tiges droites et bien aoûtées. Ces mélanges sont à base des éléments aérateurs (écorce, sciure) seuls, ou combinés à des éléments rétenteurs, à savoir (L. mixte, L. mono, Tourteaux .o). Le substrat à base de l'élément rétenteur (L. mixte), fournisse des plants moyennement acceptables.

D'une part, quant à l'aérateur (écailles), seul ou combiné aux trois types d'éléments rétenteurs, ne fournissent que des hauteurs réduites inférieures à la moyenne générale. Les mêmes résultats sont enregistrés sous la litière mono, ou tourteaux d'olivier.

Les mesures biométriques sur la croissance du diamètre au collet des plants a fait ressortir 08 groupes homogènes de substrats de culture, d'une part les meilleures moyennes sont observés dans les substrats à base des deux éléments aérateurs (écorce, sciure) seuls ou mélanges aux trois éléments rétenteurs (L. mixte, L. mono, Tourteaux .o). Le même effet a été enregistré sous l'élément rétenteur (L. mixte), qui se traduit par des croissances en diamètre assez bonnes allant de (0.67mm à 0.80mm). Le reste des substrats (T14, T12, T16, T3, T9, T6 et T10), d'une part à base de l'aérateur

(écailles) seules ou en mélange avec des éléments rétenteurs (L. mixte, L. mono,

Tourteaux .o), et d'autre part de (L. mono, Tourteaux .o) seuls, qui ne présentent que des diamètres faibles allant de 0.37mm a 0.50 mm.

Pour ce qui est du poids humide, les résultats obtenus a fait montrer, pour les deux parties de la plante, que ce soit, sous l'effet des deux types d'aérateurs (écorce, sciure) seuls ou en mélange avec des éléments rétenteurs (L. mixte, L. mono, Tourteaux .o), les plantules de Pin d'Alep, semblent avoirs, accumuler dans leurs tissus, plus d'eau, par rapport aux plants, qui ont subi l'effet d'une part, de l'aérateur écaille seul, ou en mélange avec les trois types d'éléments rétenteurs, et d'autre part de l'élément rétenteur (tourteaux .o)seul.

Pour ce qui est du poids sec, que ce soit, aérien ou souterrain, on a constater l'effet très positif des aérateurs (écorce, sciure), utilisés seuls, ou combines aux trois types d'éléments rétenteurs, qui donnent les meilleurs résultats, cela d'une part, et d'autre part, l'effet améliorant, de la litière mixte (élément rétenteur).

En ce qui concerne l'indicateur de croissance, LAP (longueur d'aiguilles/plant), on constate les mêmes effets que pour la biomasse aérienne et souterraine, sauf quelques légères exceptions, que la litière mixte, a réduit cet paramètre.

En revanche, le nombre d'aiguilles par plant, a été parfaitement amélioré, sous l'effet de (l'écorce, sciure) seuls, ou combines aux tourteaux d'olivier.

Par contre, l'aérateur « écailles » combine, aux trois types d'éléments rétenteurs, n'a donné qu'un nombre réduit d'aiguilles par plant.

Pour ce qui est le rapport, R1 ou PSS/PSA ,les résultats obtenus ne permettent pas de différencier entre les différents mélanges testes ; ce qui nous laisse a penser que ce paramètre est sous contrôle d'une balance de répartition des assimilats entre les deux parties de la plante .

En ce qui concerne, la distribution des racines le long de la racine principale (**R2**), nous avons constater que les meilleurs résultats, sont d'une part enregistrés sous l'effet de la sciure seule ou utilisée combinée aux différents éléments rétenteurs, et d'autre part, l'écorce seule, ou l'écailles combinées a la litière mono ou aux tourteaux d'olivier. Le reste des substrats (T13, T7, T16, T1, T4, T12, T3 et T14), ne présentent que des R2 faibles.

La finesse racinaire (SRL) , semble être très satisfaisante sous milieu de culture a base d'une part de sciure seule, ou mélangé aux deux types d'éléments rétenteurs, et d'autre part a base des tourteaux d'olivier seuls ou combinés aux écailles. Ainsi, le même effet a été remarqué sous la litière mono seule ou mélangé aux écailles.

Le système racinaire a été mis en évidence de deux manières, d'une part du point de vue qualité et d'autre part production de la biomasse. Pour la qualité du système racinaire, les observations obtenues au cours de cet essai confirment l'existence d'une relation étroite entre la porosité totale, taux de matière organique, et la qualité du système racinaire. En effet les substrats à porosité adéquate offrent toujours des plants avec un bon système racinaire. Les mélanges (T5, T15, T11, T4, T8, T7, T2, T1 et T13), constitués à base de l'écorce ou de la sciure, ou combinés aux trois types d'éléments rétenteurs, dont la porosité est supérieure à 75.%, ont fourni des plants avec des systèmes racinaires satisfaisants. En revanche les mélanges constitués à base de l'aérateur écailles ou combiné aux différents rétenteurs d'une part ou des tourteaux d'olive, dont la porosité est inférieure aux normes exigées par (LEMAIRE et al, 1989) de 75.%, ont fourni des plants ayant un système racinaire non satisfaisant. Enfin, les mélanges à base de la terre végétale (sol seul ou témoin), produisent des plants dont le système racinaire est de mauvaise qualité.

Donc l'utilisation de l'écorce de Pin ou la sciure du bois, en tant qu'éléments aérateurs a réalisé des performances très satisfaisantes. Néanmoins, sous l'écorce il s'avère nécessaire que l'utilisation de ce matériau en substrats de culture nécessite une opération de compostage et l'addition des apports supplémentaires de fertilisants (notamment des éléments rétenteurs) l'azote et de N.P.K, (litières ou humus forestier après leur biodégradation), afin de compenser l'azote immobilisé par les micro-organismes (C/N élevé). A cet effet et vu sa disponibilité, la facilité de son broyage et de son compostage et son coût relativement bas, ce matériau peut offrir un créneau incontournable dans l'amélioration des techniques d'élevage de plants et des techniques de préparation des substrats de cultures.

L'utilisation du grignon d'olive dans les substrats de culture n'a pas pu jouer pleinement son rôle en tant qu'élément aérateur et rétenteur.

Après la réalisation de ces essais, on a pu constater qu'il est possible maintenant de produire des plants de Pin d'Alep, ayant de performances morphologiques (hauteur, diamètre et biomasse) satisfaisantes. Enfin, il nous reste de maîtriser le problème de déformations des jeunes plants qui atteint parfois un pourcentage assez élevé, notamment pour le système racinaire (malgré que certains types de déformations n'excluent pas le plant de la qualité loyale) sous substrat compact.

D'autre part, des déformations racinaires, comme elles sont rapportées dans (Le tableau n°31), ont été observées sur les plantules installées sous les mélanges généralement à faibles porosités. Ces déformations sont très abondantes surtout sur milieux à base de l'aérateur 'écailles' sans ou combiné aux différents rétenteurs, le

rétenant 'tourteaux d'olive' En effet si le substrat est compact est mal aéré, la masse racinaire est comprimée et déformée.

Il semble évident qu'il faut jouer sur les pourcentages des éléments aérateur et rétenteurs ou les mélanges binaires, dont le but est de confectionner des milieux physiquement favorable pour recevoir sans contrainte, dans un substrat donné toute la capacité de production racinaire de l'espèce pendant toute la durée de séjour du plant dans ce pot.

La durée de notre expérimentation étant relativement courte (inférieure à une année), cette durée est insuffisante pour permettre une transformation significative des composés organiques, il sera souhaitable dans les prochaines protocoles expérimentaux, d'augmenter cette dernière pour mieux comprendre l'effet des substrats utilisés après leur biodégradation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES:

- **ANDRE (J.P)** ,1987: Propriétés chimiques des substrats in BLANC, D culture hors sol. 2eme édition Lavoisier.
- **ANONYME**, 1974 : Formes des racines et réussite des plantations in AFOCEL. ARMEF N°2 P : 1-6
- **ARGILLIER (C), FLACONNET (G), MOUSAIN (D) et GUEHL (J.M)** 1994: Techniques de production hors-sol du Cèdre de l'Atlas. Ann. Rech. For. Maroc, t.27 (spécial), vol.2.
- **AZZI (H)** ,1997: Mise au point de quelques substrats de culture a partir de matériaux organiques disponibles dans la région de Sétif pour la production des plants en pépinière. Thèse. Ing. En écologie forestière, Sétif.
- **BAIZE (D)** ,1990: Guide des analyses courantes en pédologie. Edit.Masson et Cie.
- **BAIZE (D) et JABIOL (B)** ,1995: Guide pour la description des sols. Edit.I.N.R.A., Paris, Impri.Louis.Jean. P :
- **BECKER (M) et LEVY (G)** ,1983: Influence d'un dessèchement du sol sur la nutrition minérale de jeunes plants de résineux. Ann.Scie.Forest. P :62-95
- **BELEZREGUE (N)** ,1988: Etude de la dynamique de croissance et de la morphogenèse du système racinaire de Pinus halpensis Mill. Dans la pépinière de Tamarin. Mémoire Ing I.A BATNA P : 2-22
- **BENHALLA**, 1980 : Influences du sachet en polyéthéline sur le developpement du pin d'Alep . Mémoire Ing INA El harrach
- **BENSID (Z)** ,1989: Influence de la végétation (feuillue et résineuse) sur l'évolution de la matière organique dans un sol forestier des monts de Belezma. Thèse .ing.pédologie.I.N.A. BATNA. P : 72
- **BENSID (Z)** ,1996: Etude expérimentale de la dynamique des litières dans deux stations forestières des hautes altitudes aurassiennes Mont de CHELIA. Turnover des retombées biologiques (minéralisation, réorganisation et humification).- Incidences de la nature du couvert forestier sur les microflores tellurique. Thèse.Mag.pédologie I.N.A. BATNA. P : 180
- **BINET (P)et BRUNEL(J.P)** 1969: Physiologie végétale. Tome II et III. Edit : DION. P :56-97
- **BLANC (P)** ,1987: Les cultures hors sol.Compte rendu des colleques INRA 2eme édition Louis Jean Paris. P : 409
- **BONNEAU (M)** ,1983: Effet de 12 a 14 ans de la fertilisation sur deux plantations d'épicéa commun de l'ouest du massif central.Ann. Sci. For.
- **BONNEAU (M), NYS (C), PORTE (A), ADRIAN (M) et DIDIER (S)** ,1997: Effet de la fertilisation minérale et du drainage sur la croissance des jeunes chênes, sur des sols lessive a pseudogley de la région de Blois (Loir-et-Cher). Rev. For. Fr. XI, IX -3-1997.
- **BONNEAU (M), COLIN-BELGRAND (M), DAMBRINE (E), JUSSY (J), NYS (C) et RANGER (J)** ,1998: Le cycle de l'azote dans les forets de montagne sur sol non carbonaté. Ecologie, t.29. P : 333 - 340
- **BONZON (B.)**, 1966 : Etude méthodologique du système racinaire d'ananas comosus (L.) Merr., Variété Cayenne lisse. D.E.S. Université de Paris. **20 - BONZON (B.), PICARD (D.)**, 1969 : Matériel et méthodes pour l'étude de la croissance et du développement en pleine terre des systèmes racinaires. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Biol. P : 3-9-18
- **BOUKHELOUA (D)** ,1982: Essai de mise au point de substrats horticole pour l'obtention de plantes maraichères en pépinière. Thèse Ing . Agro. I.N.A. Alger.
- **BOUKAABOUB AMAR** ,1994 : Grains normaux et échaudés chez le triticale (X-Triticosecale wittmack) variété Beagle : Etude agronomique et cytogénétique. Thèse de magister. Phytotechnié. BATNA. P :49
- **BRAUMAN (A) et FALL (S)** ,1998: Impact des termites humivore et de leur microflore digestive sur la transformation de la matière organique du sol. Scientific registration n°1710. Symposium n° 9.
- **CALLOT (G), CHAMAYOU (H), MAERTENS (C) et SALSAC (L)** ,1988: Mieux comprendre les interactions sol-racine. Edit. I.N.R.A, Paris. P :325
- **CEMAGREF**, 1991: Production de plants forestiers. EMERGENCE- 14bis, boulevard Charrier- 13090 AIX-EN-PROVENCE ISBN : 2-85362-231-2.

- **CHABA (B), 1983** : Etude de développement de jeunes plants de Pin d'Alep (*Pinus Halepensis* Mill), conséquences pratiques pour les reboisements en zones semi arides et arides. Thèse Magister INA. P :27-91
- **CHEVALIER (G) ,1985**: La mycorhisation contrôlée en pépinière possibilités d'application aux conteneurs. Revue Foret Française 2-1985. P :75-104
- **CHOPART, (J.L) ET NICOU, (R) ,1976** : Influence du labour sur le développement racinaire de différentes plantes cultivées au Sénégal. Conséquences sur leur alimentation hydrique. L'Agronomie Tropicale 31
- **CHOPART (J.L) ET SIBAND, (P), 1993**: A method for annual plant root system studies in the field by root mapping: advantages and problems. In: Abstracts of Presentations at the International Symposium on the Biology of Adventitious Root Formation. USDA General Technical Report NC 154.
- **COICY ; LESAIN (C), 1975**: La nutrition minérale et en eau des plantes en horticulture avancée. Document technique de la SCPA N° 23.
- **CROZON (J.B), NEYROUD (J.A), 1990**: Etude des caractéristiques physiques de quelques substrats en horticulture. Revue SUISSE, Arboric-Hortic. Vol 22
- **DEMELON (A) ,1961**: Le phosphore et la plante. Série. Que sais-je. P:19-39
- **DOMMERGUES (Y) ,1970**: Contribution à l'étude de la dynamique microbienne des sols en zones semi-aride et zone tropicale sèche. INRA Paris ;P :157
- **DOMMERGUES (Y), MANGENOT (F) ,1970**: Ecologie microbienne du sol
Édition. Masson Paris. P :789
- **DUCHAUFFOUR (P) et BONNEAU (M).1960**: Note sur la physiologie de la nutrition des résineux. Rev. For. Fr. P :250-256
- **DUCHAUFFOUR (P) ,1968**: L'évolution des sols : essai sur la dynamique des profils. Edit. Masson Paris P :93
- **DUCHAUFFOUR (P) ,1983**: Pédologie, pédogenèse et classification. Edit.Masson, Paris. P :25-70
- **DUTHIL (J), 1973**: Elément d'écologie et d'agronomie. Tome I et II. EDIT: J.P.Baillier ; Paris. P :265-656
- **EZZAIM (A), TURPAULT (M) et RANGER (J), 1997**: Répartition des nutriments dans un sol brun acide développe sur tuf (Beaujolais, France).Conséquences pour l'évolution de la fertilité minérale a long terme.
Ann. Sci. For. Edit. I.N.R.A. Elsevier.
- **FELLAH (A) ,1979**: Problème des mélanges en pépinières forestières, les effets de l'utilisation d'un compost. Thèse.ing.foresterie, I.N.A d'Alger EL HARACHE. P :45
- **GARBAYE (j), LAINEZ (J), LETACONE, (1983)**: Survie, mycorhization après plantation de plants de hère produits sur tourbe fertilisée. Revue forestière Française, Vol XXXV N°1.
- **GARBAYE (J), 1986**: La production rapide de plants feuillus sur tourbe fertilisée. Les bases de la technique. Revue forestière FRANCAISE XXXVIII N°3.
- **GRAS (R), 1983**: Quelques propriétés physiques des substrats in BLANC (D). Culture hors sol 2eme édition I.N.R.A. Paris Laris-Jean pp. 89-126
- **GROS (A), 1962**: Engrais guide pratique de la fertilisation. 3eme édition Maison, rustique.
- **GUILBERT (PH) ,1996**: Propriétés des substrats maraîchères. Revue scientifique fruits et légumes. N°143.
- **HABBEN (J),1974**:Note générale sur la culture hydroponique. Annales I.N.A.AlgerVol I N°4.
- **HABIB (R), JORDAN (M.O), SIMONNEAU (T) ET SEBILLOTTE (M), 1991** :Approche à l'échelle du système racinaire de l'absorption hydrominérale Conséquences en matière de modélisation. Agronomie 11, 623-643.
- **HELLER (R), ESNAULT (R) et LANCE (C) ,1998**: Physiologie végétale.
1- Nutrition.Edit : DUNOD. P :30-167
- **HENIN (S.) et al. 1960**: Le profil cultural. SEIA, Paris, XXIV. P :320
- **HOOK (DL) et BROWN (CL).1972**: Aération in trees. forest.sci. Paris
- **HUGGET (J.G) ,1973**: Nouvelle méthode d'étude de l'enracinement des végétaux pérennes à partir d'un tranchée spirale. Ann Argon P :24-707-731

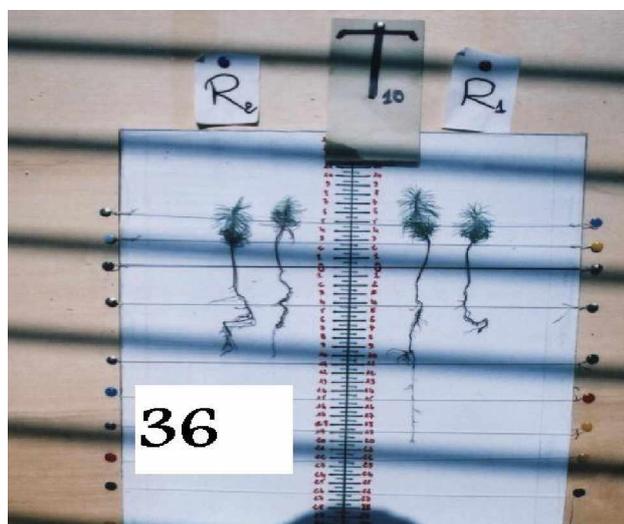
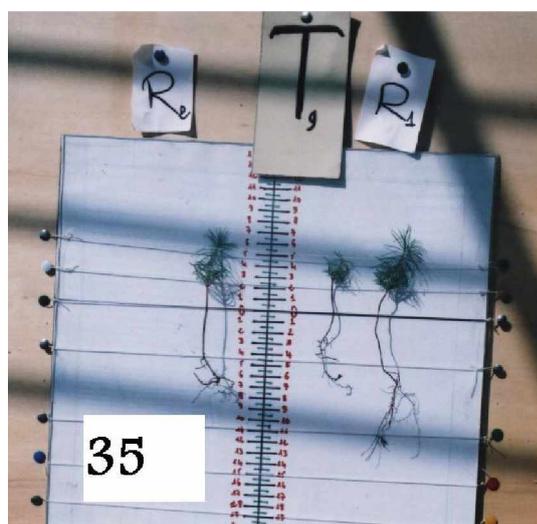
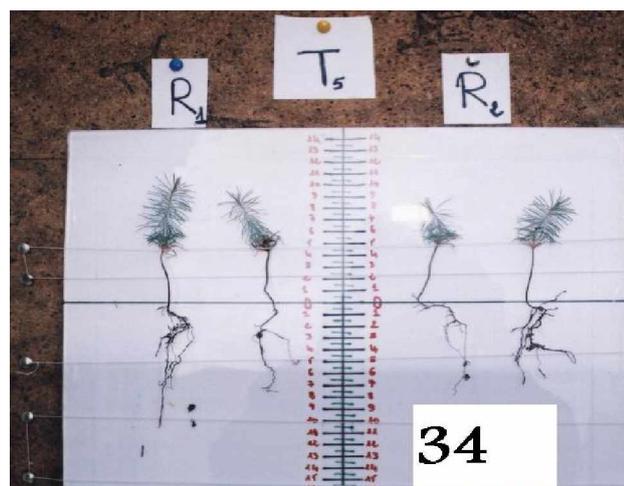
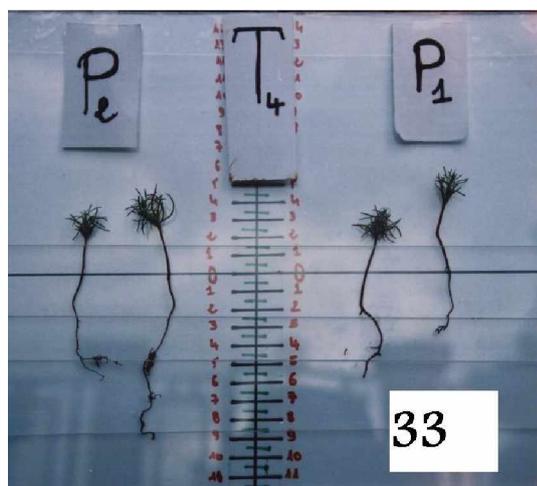
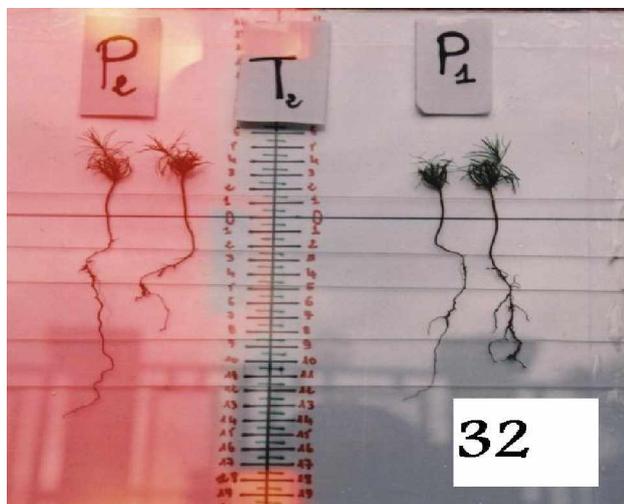
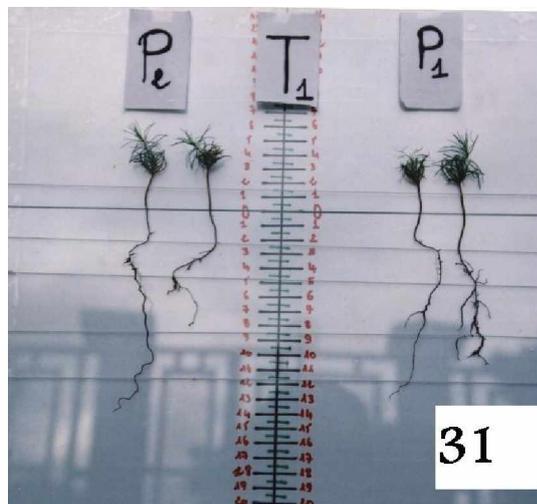
- LANIER (L), 1976: Techniques modernes de production de plants forestiers.Revue, technique et Foret.
- LANIER (L) ,1976: Précis de sylviculture. Edit: ENGREF, Nancy. P :468
- LECLERC (J.C) ,1999 : Ecophysiologie végétale. Edit: publication de l'université de Saint Etienne. P :19-249
- LEMAIRE (F), MARTIGUS (A), RIVIERE (LM), CHARPENTIER (S), 1989: Culture en pots et conteneurs. Principes agronomiques et application. Edition Louis JEAN.
- MAERTENS (C.), 1964 : Influence des propriétés physiques des sols sur le développement racinaire et conséquences sur l'alimentation hydrique et azotée des cultures. Sci. Sol. P :31-41
- MAERTENS (C) ET CLAUZEL (Y), 1982 : Premières observations sur l'utilisation de l'endoscopie dans les études de l'enracinement *in situ* des plantes cultivées. Agronomie 2.
- MANICHON (H), 1982: Influence des systèmes de culture sur le profil cultural: élaboration d'une méthode de diagnostic basée sur l'observation morphologique. Thèse Doct. Ing. INA PG Paris.
- MAZILAK (P) ,1982: Croissance et développement- physiologie végétale II. Edit : HERMANN. P :465
- MOINREAU (J), HERRMANN (P), FAVROT (J.C), RIVIERE (L.M), 1987: Les substrats inventaire, caractéristiques ressources In BLANC (D), culture hors sol. 2eme édition I.N.R.A. Paris, Louis- Jean.
- MOUTOUNET (B), AUBERT (B), GOUSSELAND (J) et TIAW-CHAN (P) ,1977: Etude de l'enracinement de quelques arbres fruitiers sur sol ferrallitique brun profond.Fruits –vol.32.
- MUSTIN (M) ,1987: Le composte. Gestion de la matière organique. Edit. François DUBUSE, Paris. P :954
- MUSY (A), SOUTTER (M) ,1996: Physique du sol. Presse polytechnique et universitaire Romande. Lausanne. P :335
- NACEUR (N) ,1996: Contribution a l'étude dynamique de deux tourbes (minéralisation du carbone et de l'azote) des régions de SEKIKDA et TAREF. Effet des substrats culturaux sur la germination des graines du Pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.).these.ing agr.I A de BATNA.
- NADEZEHDA (N) , JAN (C), 2003: Instrumental methods for studies of structure and function of root systems of large trees. Journal of experimental Botany, Vol. 54. P :1-2-3-4
- NEWMAN (E.I), 1965: A method of estimating the total length of root in a sample. J. Appl. Ecol. 3
- PENNINGSFELD (F), KURZMANN (P), 1969: Culture sans sol et sur tourbe. Édition. Maison rustique.
- PIVOT (D), REIST (A) ,1984: Horticulture et hydroponique .Revue SUISSE. Viti, Arbori, horti vol 26.
- PREVOST (P) ,1990: Les bases de l'agriculture moderne. Edit. Technique et documentation – Lavoisier. P :262
- RAHMANI (A), VERGER (J), PETIT (D) et LAROCHE (A) ,1998: Influence de la fertilisation sur la pérennité des aiguilles de jeunes *Pinus sylvestris* en plantation forestière. Ann. Sci. For. Edit. I.N.R.A. Elsevier,Paris.
- RAMADE (F) ,1984: Eléments d'écologie: - Ecologie fondamentale. Edit. Masson, Paris.,Mc Graw Hill P :175-290
- RAIMBAULT (P) ,2003: La physiologie et l'architecture des racines. 9è congrès de l'APEVC, Igualada. Institut national de l'horticulture –INH, Angers (França). P :22-23
- RANGER (J), MOHAMED (D) et GELHAYE (D) ,1994: Effet d'un amendement calco-magnésien associé ou non a un fertilisation, sur le cycle biogéochimique des éléments nutritifs dans une plantation d'épicéa commun (*Picea abies* Karst) dépérissante dans les vosges.Ann. Sci. For. Edit .I.N.R.A. Elsevier. P :455-475
- RANGER (J) ,1998: Evolution de la fertilité des sols forestiers sous plantation de Douglas. Forêt entreprise n° 120. Edit. I.D.F. Paris. 81 - RIEDACKER (A), 1976 : Rythme de croissance et de régénération des racines des végétaux ligneux. Ann Forest sci. P :39-42
- ROLANDE (F), 1980 : Organisation des plantes a fleurs. Atlas de biologie végétale .Tome II. Edition Masson P :18-19
- ROSELL (R.A) et CHASSIN, 1998:Dynamique des composés organiques, incluant des polluants dans le système sol. Scientific registration n°3007. Symposium n°7.

- **SAYAR (R) , BCHINI (H) et DAALOUL (A), 2004** : Variabilité génétique de quelques paramètres du système racinaire du blé dur (*Triticum durum* Desf) sous deux régimes hydriques -Newsletter IPGRI – FAO Published in issue N°129 P :1-3-6
- **SCHNEIDER (A), 1982**: Contribution a l'étude des propriétés physiques et chimiques d'une tourbe française en vue de sa valorisation en culture hors sol. Thèse Doc. I.N.P de LORRAINE.
- **SERAG (M), 1985**: Etude méthodologique de la matière organique cas des sols semi-aride de HODNA. Ann. INA EL- Harrach O.P.U.Alger.
- **SMIRNOV (P), MOURAVIE (E), STOROJENKO (V) et RAKIPOV (N) ,1977**: L'Agrochimie. EDIT : MIR.Mosco. P :16-150
- **SOLTNER (D) ,1987**: Les bases de la production végétale. Tome I : Le sol. Collection S.T.A.Angers. Edit. G.P Maisonneuve .Larose , Paris P :12-73
- **TARDIEU (F) ET MANICHON (H), 1986** : Caractérisation en tant que capteur d'eau de l'enracinement du maïs en parcelle cultivée. Une méthode d'étude de la répartition verticale et horizontale des racines. Agronomie.
- **TESSIER (D), BRUND (A), LE BISSONNAIS (Y) et DAMBRINE (E) ,1996**: Qualité chimique et physique des sols, variabilité spatial et évolution.Etude et gestion des sols, 3, 4, n° spécial.
- **TIMBAL (J) et MAIZERET (C) ,1998**: Biodiversité végétale et gestion durable de la forêt Landaise de Pin maritime, bilan et évolution. Rev. For. Fr. 1998.Edition INRA, Paris P :229-244
- **TOUTAIN (F) ,1987**: Les humus forestiers: Biodynamique et mode de fonctionnement. Information en Sci.Nat.n°15. P :449-463
Imprimé et édité par le C.R.D.P. de Rennes, Vandoeuvre-Los-Nancy.
- **TRAVAKOL (R), 1979**: Etude de la morphogenèse de systèmes racinaire issus de semis et de boutures de chênes et de peupliers.Thèse Docteur Ingénieur NANCY. P :127
- **VALETTE (M) ,1996**: Sauvetage de plantation mal venantes de Cèdre sur grès par fertilisation ou paillage. Bull. d'information n°4(1996). Impri.O.N.F. Fontainebleau, Avignon. P :59-61
- **VARTANIAN, 1967**: Influences des facteurs hydriques de milieu sur la croissance racinaire. Aca Sci. Paris P :216-219
- **WIERSUM (L. K.), 1967**: Root system development. In :Soil moisture and irrigation studies. PFOC. panez. Vienna 14-18 March 1966, FAO/IAEA. P :83-96

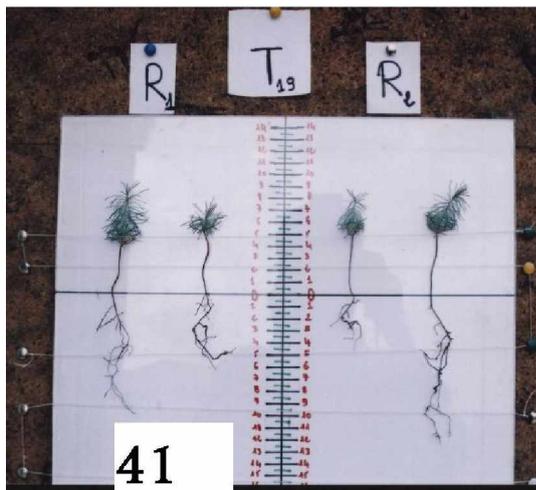
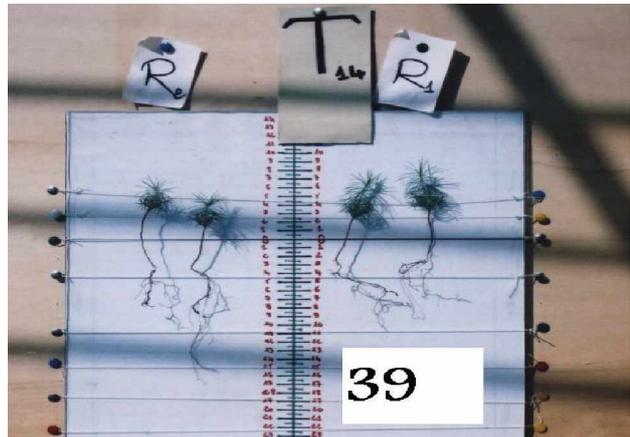
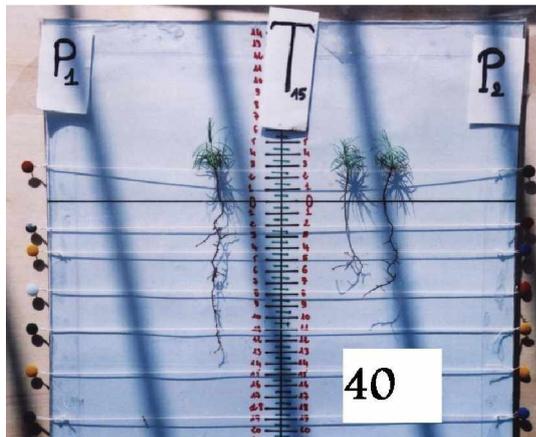
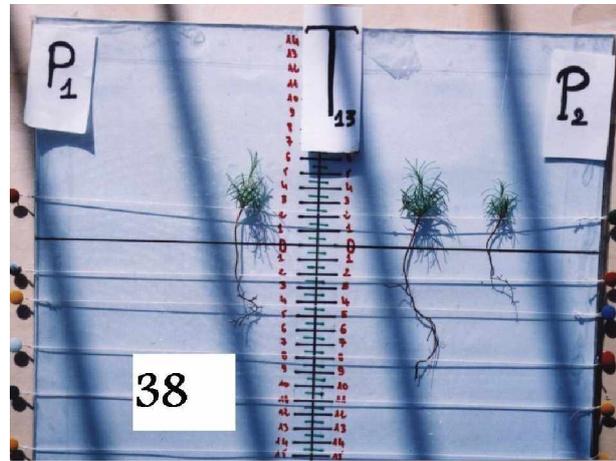
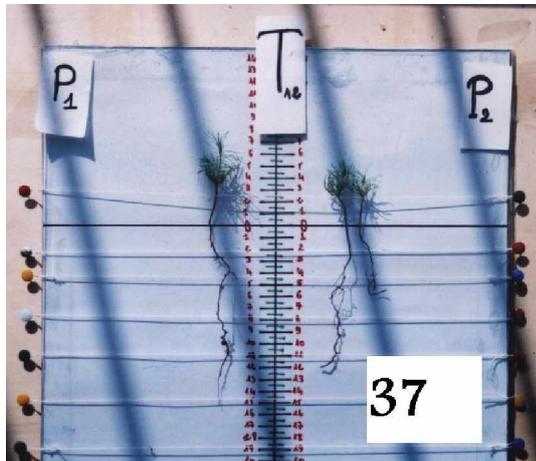
ANNEXES

ANNEXE 01 :

Photos des effets des traitements sur les plantules de Pin d'Alep après 06 mois de plantation en pots.



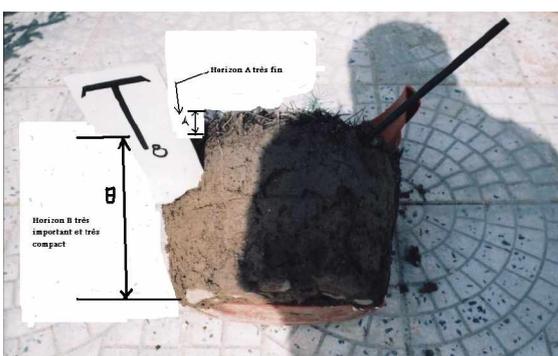
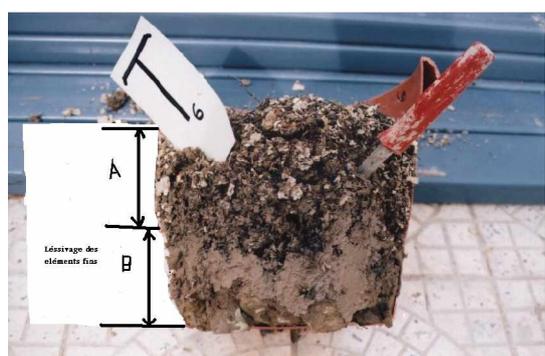
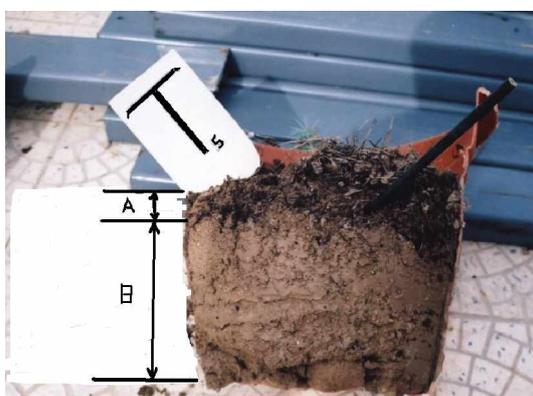
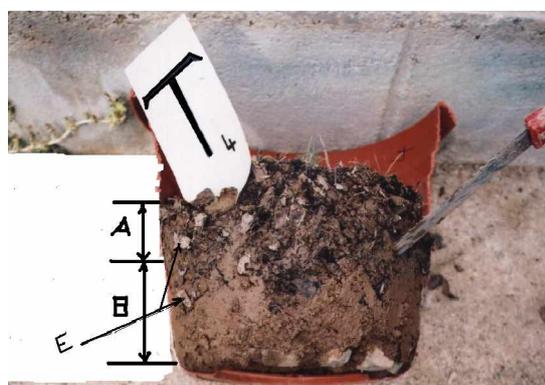
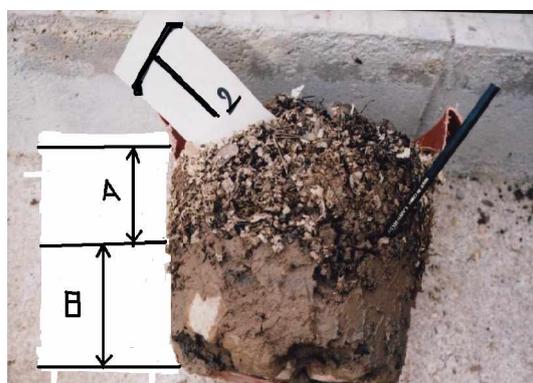
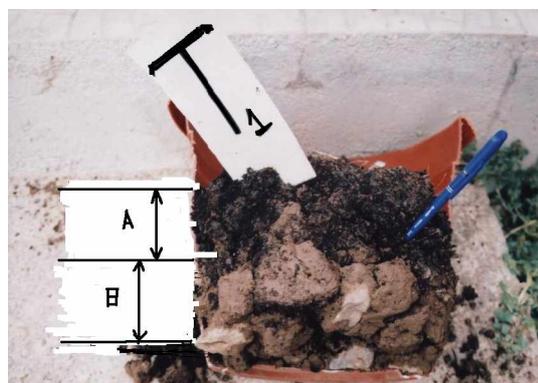
Photos des effets des traitements sur les plantules de Pin d'Alep après 06 mois de plantation en pots.



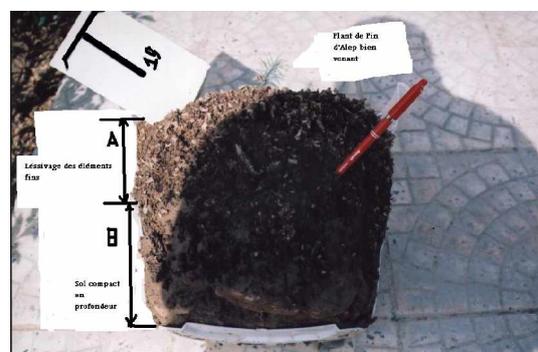
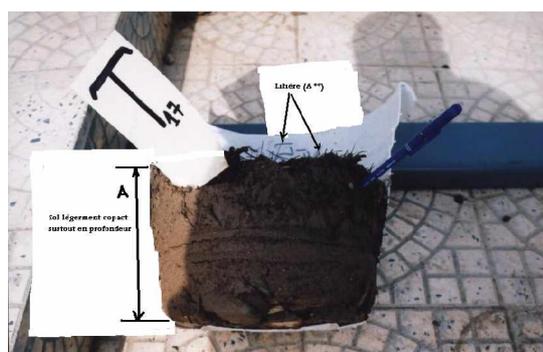
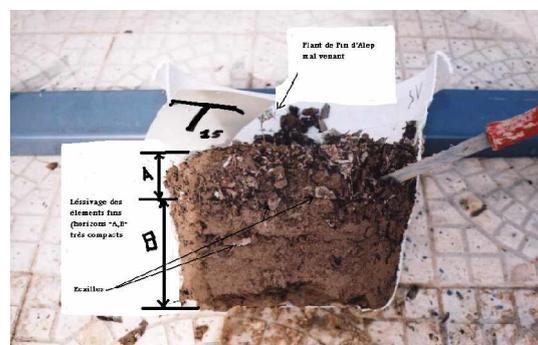
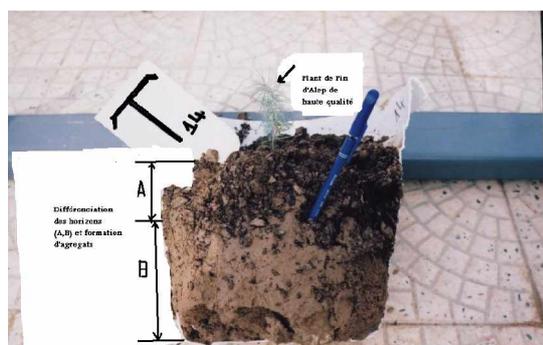
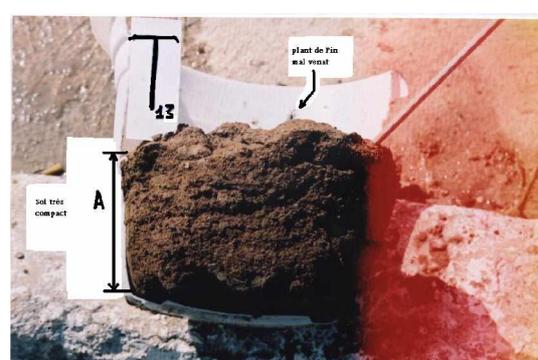
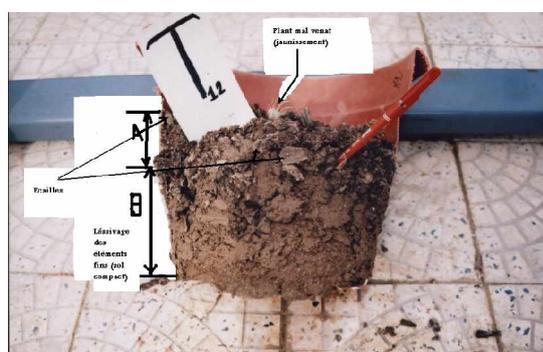
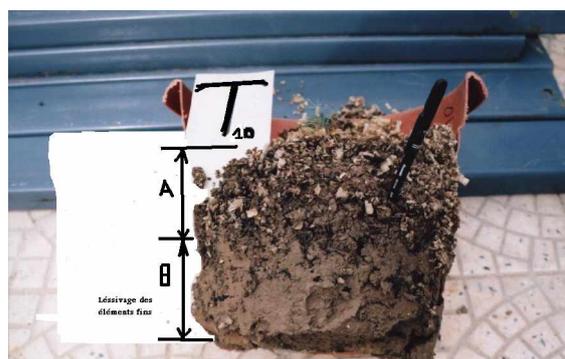
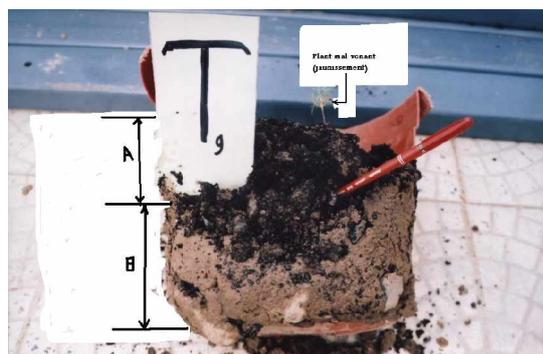
Plantules de Pin d'Alep (*Pinus halepensis* Mill.) après 06 mois de plantation en pots, subissent les effets les mélanges,

ANNEXE 02 :

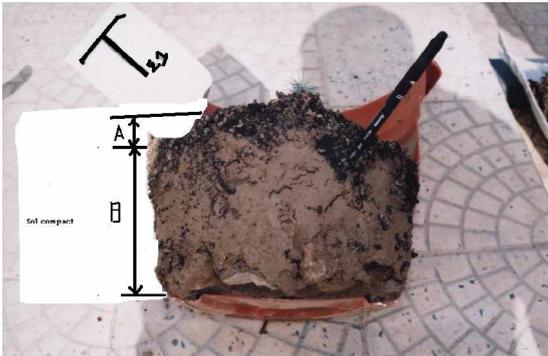
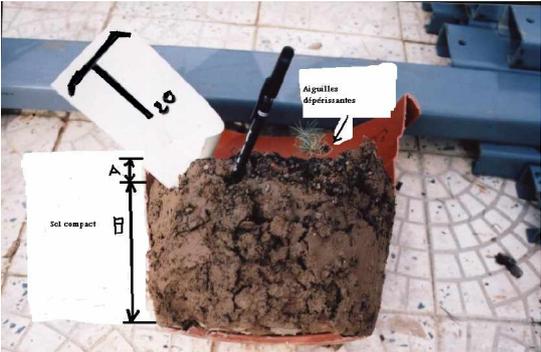
Photos des profils expérimentaux après 06 mois de plantation :



Photos des profils expérimentaux après 06 mois de plantation :



Photos des profils expérimentaux après 06 mois de plantation :



ANNEXE 03 :**TABLEAU n°=03: Résultats des analyses des différents types d'aérateurs**

Types d'analyses	unités	plumes	Sciure du bois	Ecorce de pin d'Alep	Tourteaux d'olive	Ecaille de pin d'Alep
Poids des cendres	'g'	0.71	0.83	0.64	0.72	0.79
N	%	/	0.61	0.76	3.09	0.37
C	%	/	48	50	72.89	49
C/N	/	/	78.68	65.78	23.59	132.43
MO	%	/	89.58	95.40	80.56	96.30
P	%	/	0.25	0.40	0.21	0.31
K	%	/	0.31	0.41	0.29	0.34
Ca	%	/	0.34	3.3	0.62	3.59
Mg	%	/	0.6	0.61	0.69	0.75
pH	/	/	7.18	6.7	6.02	7.05

TABLEAU n°=06: Résultats des analyses du sol.

Type d'analyse	unités	résultats
Argile	%	43.09
Limon fin	%	23.18
Limon grossier	%	07.53
Sable fin	%	19.20
Sable grossier	%	13.18
PH eau	/	8.00
CE	mos/cm	0.33
Calcaire total	%	13.29
Calcaire actif	%	06.9
Carbone	%	4.02
Azote total	%	0.99
C/N	/	4.06
MO	%	6.91
P2O5	%	0.0067
K	%	0.21
Na	%	0.33
Ca	%	19.47
Mg	%	0.97
CEC (T)	Meq /100g du sol	19

TABLEAU n°=07: Résultats des analyses des litières

Types d'analyses	unités	Litière mono pin d'Alep	Litière mixte: pin + chêne vert
Poids des cendres	'g'	0.85	0.87
N	%	1.01	0.95
C	%	29.11	76.74
C/N	/	28.82	80.78
MO	%	92.5	93.1
P	%	0.01	0.07
K	%	0.21	0.22
Cg	%	3.55	4.01
Mg	%	0.21	0.23
pH	/	7.05	7.95

Tableau n°08 : Analyses physicochimiques des différents mélanges

Types de substrats	PH	Carbone	Azote	Rapport	Matière	C. E	Porosité
	(eau)	total%	Total %	C/N	organique %	mmhos/cm à 25°C	totale
T1	7.03	27.30	0.50	54.6	55.80	0.19	89.29
T2	7.30	43.12	1.07	40.29	44.91	0.20	92.23
T3	7.19	41.79	0.93	44.93	40.77	0.20	36.77
T4	6.89	32.40	0.43	75.34	49.99	0.13	87.50
T5	7.20	45.73	0.99	106.34	45.86	0.21	91.55
T6	7.13	40.04	0.94	74.14	57.13	0.21	35.38
T7	6.4	32.15	0.69	46.59	49.80	0.24	83.79
T8	7.01	41.02	1.97	20.82	43.80	0.26	90.05
T9	6.78	35.09	2.03	17.28	6.91	0.20	37.18
T10	8.75	4.5	0.99	4.54	60.81	0.33	19.01
T11	7.01	34.5	0.47	73.40	47.90	0.17	89.51
T12	7.50	39.18	1.02	38.41	43.02	0.19	20.99
T13	7.95	48.93	1.14	42.91	50.17	0.17	25.09
T14	7.05	56.03	1.23	45.55	50.17	0.15	23.00
T15	7.23	45.70	1.03	44.36	61.75	0.13	91.51
T16	6.51	34.12	2.3	14.83	49.3	0.24	31.18

TABLEAU n° 10: Les différents paramètres étudiés

Paramètres aériens		
01	(PHA) Poids frais partie aérienne	Mesurer par une balance de précision
02	(DMC) Diamètre au collet	Mesurer par un pied a coulisse
03	(PSA) Poids sec partie aérienne	Mesurer par une balance de précision
04	(NAP) Nombre d'aiguilles par plant	/
05	(LGA) Longueur de la partie aérienne	Mesurer par une règle graduée en cm et du papier millimètre
06	(LAP) Longueur totale d'aiguilles par plant	Mesurer par une règle graduée en cm et du papier millimètre
Paramètres racinaires		
01	(LTS) La Longueur totale partie souterraine	Paramètre plus fréquemment retenu, est mesuré en cm à l'aide d'une règle plate graduée et du papier millimètre. Il représente le cumul des mesures de chaque axe (racine) pris individuellement.
02	(PSS) La masse de matière sèche racinaire	Exprimée en g, a été déterminée après séchage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures (Heitholt 1989) in Sayer et al 2004.
03	(SRL) La finesse racinaire (LTS)/ (PSS)	Appelée aussi (specific root system), (La Longueur spécifique des racines) ; exprimée en cm/g de matière sèche, a été estimée par le rapport de la longueur racinaire au poids sec racinaire (Wilhelm et al.1982) in Sayer et
04	((R1) Le rapport de la matière sèche entre la partie racinaire et la partie aérienne " PSS/PSA	A été obtenu après séchage à l'étuve à 105°C pendant 96 heures. Ce rapport a été étudié par plusieurs chercheurs, par ce qu'il donne, une justification de la

		nutrition à cet age (échange avec le substrat), ainsi l'équilibre de la croissance de la partie aérienne et de la partie souterraine (racine/tige).
05	(PHS) Poids frais partie souterraine	Poids frais partie souterraine, a été obtenu à l'aide d'une balance de précision.
06	(LXS) Longueur maximale partie souterraine	A été obtenu à l'aide d'une règle plate graduée et papier millimètre.
07	(R2) LTS/LXS	

TABLEAU n°=11: moyennes des analyses biométriques des plants de pin d'Alep après 02 mois de plantation

	DMC (MM)	PHA (G)	PHS (G)	PSA (G)	PSS (G)	LGA (CM)	LAP (CM)	LTS (CM)	LXS (CM)	NAP (A/PL)	R1	R2	SRL (G/CM)
T1	0.605	0.211	0.118	0.082	0.09	5.08	45.025	60.06	8.95	25.75	1.117	6.754	668.707
T2	0.592	0.179	0.116	0.117	0.112	5.005	51.575	78.825	7.825	35.75	0.964	10.075	706.417
T3	0.347	0.034	0.046	0.036	0.041	2.254	28.5	7.633	2.991	26	1.085	3.129	264.684
T4	0.642	0.261	0.138	0.063	0.05	6.505	103.7	37.31	10.325	50.5	0.816	3.635	757.903
T5	0.765	0.22	0.114	0.137	0.108	5.38	48.375	145.81	9.075	28.75	0.786	14.951	1357.966
T6	0.355	0.037	0.042	0.038	0.034	1.77	29.043	8.877	2.007	21.875	0.909	5.068	292.01
T7	0.655	0.229	0.13	0.122	0.113	5.63	86.82	74.313	9.325	31.5	0.925	8.229	676.064
T8	0.607	0.199	0.115	0.138	0.094	5.07	46.225	84.485	8.325	32	0.68	10.152	907.549
T9	0.3535	0.025	0.022	0.020	0.020	1.293	53.5	4.354	3.258	29.749	1.009	1.521	221.622
T10	0.345	0.043	0.012	0.042	0.009	2.537	27.163	5.461	1.409	32.299	0.263	3.443	590.473
T11	0.68	0.321	0.14	0.182	0.137	6.005	120.38	96.31	12.2	54.166	0.75	7.92	711.844
T12	0.455	0.043	0.026	0.013	0.021	1.901	34.75	6.891	2.705	45.312	1.801	4.596	338.615
T13	0.58	0.184	0.105	0.128	0.08	4.505	55.5	51.56	8.32	33.5	0.627	6.437	641.867
T14	0.405	0.614	0.021	0.031	0.016	2.705	28.933	4.33	3.7	25.166	0.56	2.745	452.824
T15	0.705	0.249	0.135	0.086	0.082	6.63	68.31	137.06	9.7	45.25	1.215	14.469	1964.049
T16	0.394	0.058	0.018	0.025	0.016	3.38	44.982	7.404	5.387	21.769	0.862	3.077	530.896

TABLEAU n°=12: moyennes des analyses biométriques des plants de pin d'Alep après 04 mois de plantation

	DMC (mm)	PHA (g)	PHS (g)	PSA (g)	PSS (g)	LGA (cm)	LAP (cm)	LTS (cm)	LXS (cm)	NAP (a/pl)	R1	R2	SRL (g/cm)
T1	0.68	0.271	0.143	0.13	0.137	6.872	91.47	111.06	11.45	40.5	1.091	9.648	816.708
T2	0.69	0.239	0.138	0.156	0.126	6.505	121	128.31	10.325	48	0.820	12.828	1063.081
T3	0.42	0.097	0.074	0.088	0.065	4.753	67.15	12.752	4.347	26.187	0.831	2.89	190.441
T4	0.742	0.321	0.173	0.159	0.165	7.38	143.3	128.56	13.57	84.25	1.037	2396.584	777.660
T5	0.765	0.319	0.145	0.147	0.14	7.005	174.15	185.185	9.91	40.25	0.955	19.585	1321.910
T6	0.317	0.074	0.058	0.074	0.039	3.662	37.005	24.807	2.125	48.307	0.539	12.623	733.751
T7	0.7	0.279	0.148	0.131	0.132	7.13	93.25	111.93	12.95	63.16	1.005	8.681	849.857
T8	0.755	0.269	0.14	0.523	0.142	6.88	98.67	145.56	10.95	67.25	0.29	13.494	1027.784
T9	0.400	0.116	0.029	0.075	0.021	4.255	61.387	6.747	5.269	31.55	0.345	1.741	454.458
T10	0.347	0.042	0.046	0.050	0.056	3.53	63.402	29.577	2.860	56.3	1.295	14.691	598.997
T11	0.755	0.419	0.213	0.197	0.202	8.105	125.51	158.81	13.82	78	1.022	11.460	785.466
T12	0.348	0.119	0.041	0.127	0.046	4.072	47.875	17.705	3.653	63.562	0.352	7.2015	466.869
T13	0.66	0.224	0.145	0.149	0.142	5.88	60.683	98.31	10.2	39.83	0.96	9.513	503.535
T14	0.46	0.112	0.039	0.098	0.028	4.8	57.25	11.31	5.97	41.5	0.377	2.174	549.589
T15	0.792	0.286	0.155	0.119	0.144	7.254	199.05	271.31	13.45	56.5	1.205	20.525	2099.62
T16	0.463	0.102	0.035	0.056	0.024	4.702	51.41	16.452	5.756	38	1.961	3.596	1024.520

TABLEAU n°=13: moyennes des analyses biométriques des plants de pin d'Alep après 06 mois de plantation

DMC (mm)	PHA (g)	PHS (g)	PSA (g)	PSS (g)	LGA (cm)	LAP (cm)	LTS (cm)	LXS (cm)	NAP (a/pl)	R1	R2	SRL (g/cm)
0.845	0.542	0.304	0.24	0.271	10.75	231.7	322.21	17.89	58	1.130	18.610	1189.801
0.851	0.534	0.282	0.305	0.26	10.27	257.6	247.81	15.63	83.66	0.853	16.261	961.649
0.525	0.219	0.176	0.107	0.17	5.98	120.15	86.517	8.357	39.937	1.786	10.981	512.866
0.863	0.629	0.403	0.322	0.4	10.95	271.75	381.31	19.2	116	1.242	19.952	955.233
0.871	0.57	0.343	0.267	0.272	10.79	279.41	405.36	12.89	54.16	1.018	31.717	1489.664
0.512	0.211	0.175	0.089	0.077	5.2775	64.77	101.907	6.035	69.38	0.701	25.254	2637.083
0.857	0.548	0.348	0.254	0.268	10.86	241.15	336.01	18.45	102.25	1.05	18.319	1250.090
0.867	0.536	0.292	0.26	0.281	10.68	247.75	387.81	16.5	107.16	1.182	24.940	1379.581
0.515	0.226	0.059	0.113	0.078	6.838	123.412	404.89	10.156	40.25	0.777	46.244	6033.118
0.429	0.17	0.146	0.100	0.094	5.693	151.5	108.085	6.153	75.312	0.935	20.607	1129.05
0.869	0.679	0.444	0.362	0.432	11.1	266.02	385.31	18.02	111.2	1.187	22.540	915.326
0.615	0.339	0.083	0.130	0.112	5.085	86.093	103.963	9.340	75.2	0.814	11.891	1152.694
0.76	0.35	0.343	0.274	0.279	7.85	109.75	300.01	14.74	49.5	1.025	20.707	1081.735
0.62	0.3	0.121	0.116	0.091	6.89	97.57	69.605	9.59	60	0.767	9.193	2545.239
0.88	0.561	0.391	0.236	0.382	10.88	282.38	421.31	18.95	96	1.602	22.710	1261.992
0.529	0.202	0.079	0.074	0.078	6.594	99.407	107.57	8.125	56.33	1.057	27.485	2299.629

TABLEAU n°=14: moyennes des analyses biométriques des plants de pin d'Alep des trois périodes (02,04 et 06 mois) de plantation

	DMC (mm)	PHA (g)	PHS (g)	PSA (g)	PSS (g)	LGA (cm)	LAP (cm)	LTS (cm)	LXS (cm)	NAP (a/pl)	R1	R2	SRL (g/cm)
T1	0.71	0.341	0.188	0.150	0.166	7.5675	122.731	164.443	12.763	41.416	1.113	11.671	891.73925
T2	0.711	0.317	0.178	0.192	0.166	7.26	143.391	151.648	11.26	55.803	0.879	13.055	910.382
T3	0.431	0.117	0.099	0.077	0.092	4.329	71.933	35.634	5.232	30.708	1.234	5.666	322.663
T4	0.749	0.403	0.238	0.181	0.205	8.278	172.916	182.393	14.365	83.583	1.032	806.723	830.265
T5	0.800	0.369	0.200	0.183	0.173	7.725	167.311	245.451	10.625	41.053	0.920	22.084	1389.846
T6	0.394	0.107	0.092	0.067	0.050	3.57	43.606	45.197	3.389	46.520	0.716	14.315	1220.948
T7	0.737	0.352	0.208	0.169	0.171	7.873	140.406	174.084	13.575	65.636	0.993	11.743	925.337
T8	0.743	0.334	0.182	0.267	0.172	7.543	130.881	205.951	11.925	68.803	0.717	16.195	1104.971
T9	0.423	0.122	0.037	0.069	0.040	4.128	79.433	138.663	6.228	33.849	0.710	16.502	2236.399
T10	0.374	0.085	0.068	0.064	0.053	3.92025	80.688	47.708	3.474	54.637	0.831	12.914	772.840
T11	0.693	0.473	0.227	0.247	0.257	8.403	170.636	213.476	14.68	81.122	0.931	13.973	804.212
T12	0.473	0.167	0.0503	0.090	0.059	3.686	56.239	42.853	5.232	61.358	0.989	7.896	652.726
T13	0.666	0.252	0.169	0.183	0.167	6.078	75.311	149.96	11.086	40.943	0.870	12.219	742.379
T14	0.495	0.342	0.060	0.081	0.045	4.798	61.251	28.415	6.42	42.222	0.568	4.704	1182.551
T15	0.792	0.365	0.227	0.147	0.202	8.254	183.246	276.56	14.033	65.916	1.094	19.235	1775.220

Sommaire

T16	0.462	0.120	0.044	0.052	0.039	4.892	65.266	43.809	6.423	38.699	1.293	11.386	1285.015
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	-------	--------	-------	--------	----------

Résumé :

Les racines jouent un rôle fondamental dans le fonctionnement et donc dans la production des plantes. C'est grâce à elles que se fait l'approvisionnement en eau et en éléments minéraux de celle-ci. Mais il existe aussi d'autres fonctions: ancrage sur le substrat, réserves en assimilats, métabolisme. Les racines contribuent en particulier aux équilibres hormonaux qui contrôlent la croissance et le fonctionnement de la plante. Elles constituent également une source de matière organique pour le sol; c'est même parfois la seule restitution régulière dans beaucoup de systèmes de culture. Il est donc important pour la production de la culture, mais aussi pour le maintien de la fertilité du sol, d'avoir un système racinaire bien développé, notamment en profondeur.

Un des rôles essentiels du choix du substrat est de faciliter la croissance des racines dans ce milieu contraignant. Pour cela, il permet souvent de diminuer la résistance du sol à la pénétration des racines à travers une amélioration de sa structure et parfois de son humidité. Il améliore aussi l'aération du sol, facilitant les échanges gazeux au niveau de la racine. Dans cette perspective, le présent travail a été consacré à l'étude de l'effet de différents substrats de culture sur le système racinaire du Pin d'Alep, afin de mieux caractériser la partie souterraine de cette espèce et d'évaluer ses aptitudes productives en rapport avec son milieu de culture. Il a porté précisément sur les points suivants :

- Caractérisation du profil culturel des différents mélanges
- Caractérisation morphométrique des plants sous les différents substrats
- Estimation des différents descripteurs (indicateurs) de croissance aérienne et racinaire
- Etude statistique.

ملخص-

ان الدراسة المورفولوجية تحت شروط مخبرية للجهاز الجذري و الهوائي لصنف الصنوبر الحلبي تحت تاثير عدد من الخلائط العظوية المحلية المكونة من جهة من عناصر مهوية (حراشيف مخاريط الصنوبر الحلبي (1) – قشرة شجرة الصنوبر الحلبي (2) – نجارة الخشب (3)) و من جهة اخرى من عناصر مخزنة للماء (مادة عظوية ابرية احادية النوع من الصنوبر الحلبي (4) – مادة عظوية مختلطة من الصنوبر الحلبي و البلوط الاخطر(5) – فضلات معاصر الزيتون (6)) اظهرت اثرا ايجابيا كما و نوعا على كل دلائل النمو المقاسة (هوائية كانت او جذرية) تحت تاثير كل من الخلائط – (2) – (3) – (4-2) – (5-2) – (4-3) – (3) – (5) – (6-2) – و اثر سلبي لكل من (1) – (4-1) – (5-1) – (6-1).