

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE DE JIJEL

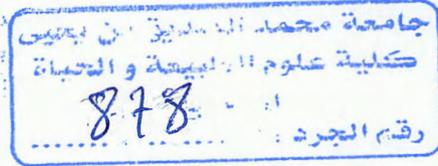
جامعة جيجل

Faculté Des Sciences

كلية العلوم

Département d'Ecologie et de l'environnement

قسم علم البيئة و المحيطات



MEMOIRE

Eco.08/06

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Ecologie Végétale et  
Environnement  
Option : Ecosystèmes forestiers

THEME

Essai d'élevage de plants de pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) sur des substrats  
de culture à base des boues résiduairees en pépinière hors-sol.

Présenté Par :

BIROUK Hanane  
ZOUAGHI Nadjiba

Jury:

Présidente : Mme MERIBAI N

Promoteur : Mme BOUBZARI L

Co-promoteur: Mr CHOUIAL M

Examineur: Mr ROULA S



Année universitaire 2005-2006

## Remerciements

Tout d'abord, louange et éloge au Dieu le grand tout puissance qui nous a donné la force et la foie pour arriver à ce niveau.

Nous tenons à présenter ici nos sincères remerciements à :

-Notre promotrice, **Mme BOUBZARI L née BENFRIDJA** , pour avoir dirigé ce travail et pour l'intérêt constant qu'elle a porté à ce sujet. Qu'elle trouve ici nos sincères reconnaissances pour tous les conseils et les remarques objectives qu'elle nous a apportés.

- Notre Co-promoteur **M. CHOUIAL M**, Chargé d'étude à l'INRF, pour vouloir co-diriger nos travaux, malgré ses occupations, il nous a consacré énormément de temps. Sans oublier cette occasion pour lui adresser nos remerciements sur sa grande compréhension, respect et humanité.

Nos remerciements vont également à :

-**Mme MERIBAI**, enseignante à notre département, pour nous avoir honoré de présider notre jury.

-**M. ROULA S**, pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.

Ce travail a été réalisé à l'institut national de recherche forestière (station de Jijel). Nous exprimons notre reconnaissance au directeur de la station **M. CHOUIAL Ali** pour la confiance qu'il nous a témoignée en nous accueillant au sein de la station.

Avec nos profonds sentiments de respect et de reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à parachever ce modeste travail soit au niveau scientifique mais aussi personnel, et sans qui, notre travail n'aurait pu aboutir.

**Mr. BENAMIROUCHE S**, qui nous a aidé aussi par ses informations judicieuses, nous ont éclairés et encouragé à la souillure.

Nous remercions aussi tout le personnel de la station en particulier : **Redouane, Naamane** et **Ami Ali** pour leurs efforts fournis durant toute la période de l'élevage des plants en pépinière.

## Abréviations

**C** : Carbone total

**CM** : Carré moyen

**da**: Densité apparente

**D.D.L** : Degré de liberté

**D moy** : Diamètre moyen au collet (mm)

**FF** : Valeur de FISCHER calculé

**FT** : Valeur de FISCHER théorique

**H moy** : Hauteur moyenne de la partie aérienne (cm)

**H.S** : Hautement significative

**N.S** : Non-signification

**T.H.S** : Très hautement significative

**MO** : Matière organique ( %)

**MS** : Matière sèche

**P** : Porosité totale (%)

**S** : Significative

**S.C.E** : Somme des carrés des écarts

**SIGNIF** : Signification

**Var** : Variation

**Var. fact** : Variation factorielle

**Var. Résidu** : Variation résiduelle

**AFOCEL** : Association forêt-cellulose

**CEMAGREF** : Centre national du machinisme agricole du génie rural des eaux et des forêts.

**AFNOR** : Association française de normalisation

**PST** : Poids sec total

**PSPS** : Poids sec partis souterraine

**PSPA** : Poids sec parties aériennes

## LISTES DES TABLEAUX

- Tableau I** : Composition comparée des boues et du fumier de ferme.
- Tableau II** : Valeurs limites des métaux lourds dans le sol. Normes d'AFNOR
- Tableau III** : Caractérisation de l'état de phosphore(soluble ou insoluble) dans les boues.
- Tableau IV** : Caractéristiques des écorces.
- Tableau V** : Exemple de porosité totale de matériaux utilisés dans les substrats.
- Tableau VI** : Exemple de pH (H<sub>2</sub>O) des principaux matériaux de base pour substrat.
- Tableau VII** : Classe de salinité en fonction de la CE de l'extrait de patte saturée et de la somme des anions.
- Tableau VIII** : Rapport C/N de différentes matières organiques.
- Tableau IX** : Exemple de capacité d'échange cationique des principaux matériaux de base pour substrat.
- Tableau X** : Composition et dénomination des substrats testés.
- Tableau XI** : Analyses chimiques de la boue.
- Tableau XII** : Normes d'interprétation de calcaire totale.
- Tableau XIII** : Echelle de salure européenne.
- Tableau XIV** : Analyse physique de la boue.
- Tableau XV** : Analyses physico-chimiques des substrats de culture testés.
- Tableau XVI** : Taux de levée.
- Tableau XVII** : Analyse de la variance de hauteur (première mesure).
- Tableau XVIII** : Analyse de la variance de hauteur (deuxième mesure).
- Tableau XIX** : Analyse de la variance de hauteur (troisième mesure).
- Tableau XX** : Analyse de la variance de hauteur (quatrième mesure).
- Tableau XXI** : Analyse de la variance de diamètre (première mesure).
- Tableau XXII** : Analyse de la variance de diamètre (deuxième mesure).
- Tableau XXIII** : Analyse de la variance de diamètre (troisième mesure).
- Tableau XXIV** : Analyse de la variance de diamètre (quatrième mesure).
- Tableau XXV** : Analyse de la variance pour le rapport H/D.
- Tableau XXVI** : Analyse de la variance de poids frais de la partie aérienne.
- Tableau XXVII** : Analyse de la variance de poids sec de la partie aérienne.
- Tableau XXVIII** : Analyse de la variance de poids frais de la partie racinaire.
- Tableau XXIX** : Analyse de la variance de poids sec de la partie racinaire.
- Tableau XXX** : Caractéristiques qualitatifs des plants de pin maritime

## LISTE DES FIGURES

**Fig.1** : Pin maritime.

**Fig.2** : Plan du dispositif expérimental.

**Fig.3** : Taux de levée par substrat de culture.

**Fig.4** : Taux de survie par substrat de culture.

**Fig.5** : Evolution de la croissance en hauteur des plants en fonction des substrats de cultures.

**Fig.6** : Evolution de la croissance en diamètre en fonction des substrats de culture.

**Fig.7** : Mesure de la biomasse par substrat de culture.

# SOMMAIRE

Introduction	1
<i>Première partie : Etude bibliographique</i>	
<i>Chapitre I : Les boues résiduaires</i>	
I-Traitements des eaux usées	3
I-1-Prétraitement de l'eau	3
I-1-1-Relevage	3
I-1-2-Dégrillage	3
I-1-3- Déshuilage	3
I-1-4-Dessablage	3
I-2 –Décantation	3
I-2 –1- Décantation primaire	4
I-2 –2- Décantation secondaire	4
II- Traitements des boues	4
II -1 – La stabilisation	4
II -2- Epaississement des boues	4
II -3-Conditionnement thermique des boues	4
II - 4 - Traitement à la chaux	4
II -5- Déshydratation	5
III - Les différents types des boues	5
III-1- Les boues primaires	5
III-2- Les boues secondaires	5
III-3- Les boues mixtes	5
IV- Utilisation agricole des boues	5
IV-1- Caractéristiques des boues utilisables en agriculture	6
IV-1-1- Le carbone organique	6
IV-1-2-L'azote	7
IV-1-3- Phosphore	7
IV-1-4-Les éléments minéraux (K,Ca,Mg)	7
IV-2-Caractéristiques des boues limitant leur utilisation en agriculture	7
IV-2-1- Les agents pathogènes	8
IV-2-2- Les métaux lourds	8
IV-2-3- Les micropolluants organiques	8
IV -3- Les autres applications	9
IV-3-1- L'épandage Sylvicole	9
IV-2-Valorisation des boues en milieu forestier et agricole	10
<i>Chapitre II : les substrats de culture</i>	
1- Définition du substrat de cultures	12
II- Différents types de substrats de cultures	12
II-1-1-Matériaux organiques naturels	12
II-1-1-1-Les tourbes	12
II-1-1-2-Les écorces	13
II-1-1-3-Déchets cellulo –ligneux	13
II-2 - Matériaux minéraux	14
II -2-1- Matériaux minéraux naturels	14
II-2-1-1- Le sable	14
II-2-1-2 - Les pouzzolanes	14
II-2-2-Matériaux minéraux expansés	14
II-2-2-1- Argile expansée	14
II-2-2-2- La perlite	15
III- Qualités requises pour un substrat de culture	15
III-1- Du point de vue physique	15

III-1-1- La structure.....	15
III-1-2- La perméabilité.....	15
III-1-3 - Porosité .....	16
III-1-4 - La rétention en eau .....	16
III-1-5- La stabilité physique .....	17
<b>III-2- Du point de vue chimique .....</b>	<b>17</b>
III-2-1- Le pH .....	17
III-2-2- La conductivité électrique (CE) .....	18
III-2-3- Le rapport C/N .....	18
III-2-4 - La capacité d'échange cationique (CEC).....	19
IV- Nécessité des mélanges en pépinière.....	20

### *Chapitre III : le pin maritime*

I - Systématique .....	21
I-1- Classement du pin maritime dans le règne végétal .....	21
II- Caractères botaniques et forestiers .....	21
III - Aire de répartition .....	22
III -1- Dans le monde.....	23
IV - Association végétale .....	23
V- Ecologie .....	23
V-1 - Le climat.....	23
V-2 -Conditions édaphiques.....	24
VI- Régénération du pin maritime .....	24
VI- I- Régénération naturel .....	24
VI-2- Régénération Assistée .....	24
VII- utilisations et intérêt du pin maritime.....	24

### *Deuxième partie : Etude expérimentale*

#### *Chapitre I : Matériels et méthodes*

I- Présentation de la station .....	26
II- Matériel et méthodes .....	26
II-1- Matériaux utilisés .....	26
II-1-1-Eléments rétenteur d'eau .....	26
II-1-2- Eléments aérateurs .....	26
II -1-3- conteneurs « W.M » .....	27
II -1-4- les caissettes .....	27
II-1-5 le matériel végétal .....	27
III- méthodes .....	27
III-1- préparation des substrats.....	27
III-1-1- tamisage .....	27
III -1-2- Mélange et choix des substrats .....	27
III -2-protocole expérimental .....	28
III-3- conduite de l'élevage .....	29
III-3-1- traitement des graines .....	29
III-3-2 semis .....	29
III-3-3 l'arrosage .....	29
III-3-4 démariage .....	29
III-3-5- traitements sanitaire .....	29
III-3-3-5-1- contre les mauvaises herbes (désherbage) .....	29
III-3-3-5-2- Contre les champignons .....	29
IV Mesures et observations .....	30
IV-1-la levée des semis .....	30
IV-2-le taux de survie .....	30
IV-3-Mésures des hauteurs des tiges et des diamètres au collet .....	30
IV-3-1- technique d'échantillonnage .....	30

IV -3-2 La hauteur de la tige .....	30
IV- 3-3- Diamètre au collet .....	30
IV-4- Etude de la biomasse .....	30
IV-4-1- Poids secs de la partie aérienne .....	31
IV-4-2-Poids secs de la partie souterraine .....	31
IV- 5- Aspects qualitatifs .....	31
V- Analyse physico-chimique .....	31
V-1-Analyses chimiques .....	31
V-1-1- Détermination du pH .....	31
V-1-2- Détermination de la conductivité électrique .....	31
V-1-3- Matière organique .....	31
V-1-4- Azote total .....	32
V-1-5- Détermination du rapport C/N .....	32
V-1-6- calcaire total .....	32
V-1-7- Calcaire actif .....	32
V-1-8- La capacité d'échange cationique ( C.E.C) .....	32
V-1-9- Les éléments traces .....	33
V-2- Analyses physiques .....	33
V-2-1- la granulométrie .....	33
V-2-2- détermination de la densité apparente .....	33
V-2-3- La porosité totale .....	34
VI- Analyse statistique.....	34

## *Chapitre II : Résultats et discussions*

I- présentation et analyse des donnes.....	35
1-1-Propriétés chimiques de la boue .....	35
I-2- Propriétés physiques de la boue.....	36
I-3- propriétés physico-chimiques des substrats testés.....	37
I-3-1-pH.....	37
I-3-2-La matière organique .....	37
I-3-3-Conductivité électrique.....	37
I-3-4-Porosité totale .....	38
I-3-5-Azote .....	38
I-3-6-Le Rapport C/N .....	38
I-3-7-Capacité d'échange cationique .....	38
I-4- Taux de levée.....	38
I-5-Taux de survie .....	39
I-6- Influence du substrat sur les caractéristiques dimensionnelles des plants .....	40
I-6-1- Croissance en hauteur .....	40
I-6-2-Croissance en diamètre .....	42
I-6-3 Rapport de la hauteur de la partie aérienne et le diamètre au collet .....	44
I-7-Action des substrats sur les caractéristiques pondérales des plants .....	45
1-7-1-Poids frais de la partie aérienne.....	45
I-7-2-Poids sec de la partie aérienne .....	45
I-7-3-Poids frais de la partie racinaire.....	45
I-7-4-Poids sec de la partie racinaire .....	46
I-8-Aspects qualitatifs .....	46
II- Discussions.....	50
Conclusion générale	
Bibliographie	
Annexes	

**PREMIERE PARTIE**  
**ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

## Introduction

Face à la régression continue des superficies boisées du pays sous les effets conjugués des actions anthropiques et naturelles, le reboisement constitue, une activité vitale et stratégique qui doit être menée sans relâche. Malheureusement, l'importance des programmes de reboisements lancés dans le pays, n'a pas favorisé l'essor de la filière de production de plants forestiers car, cette dernière revêt toujours un caractère purement *quantitatif*.

En effet, les techniques de production en pépinières forestières n'ont pas connu d'amélioration importante depuis leur origine : élevage des plants sur planches au sol, utilisation du sachet de polyéthylène perforé et mise au point empirique des substrats de culture, dont les propriétés physico-chimiques affectent négativement la qualité des plants produits en pépinière, ainsi que leur performance en site de reboisement.

Pour faire face à ces contraintes, la nouvelle stratégie de reboisement s'est fixé comme objectif a priori l'introduction de nouvelles technologies et l'amélioration des *pratiques culturelles de production de plants forestiers, dans une perspective de moderniser progressivement nos pépinières forestières.*

La mise au point d'un substrat de culture ayant des caractéristiques physico-chimiques requises constitue l'une des préoccupations actuelles, en partant du principe que la conception de tout type de substrat de culture devra se baser sur l'utilisation des matériaux locaux à bon marché.

Parmi les matériaux disponibles localement, on trouve les boues résiduaire issues des stations d'épuration faisant l'objet du présent travail, dont le but est de tester les possibilités de leur valorisation dans la composition des substrats de culture en pépinière hors-sol.

Cette valorisation des boues présente deux avantages, d'une part offre un *gisement important pour la confection des mélanges en pépinière pour produire des plants forestiers*, et d'autre part, elle constitue une solution pour éliminer les résidus, contribuant ainsi à la protection de l'environnement et l'hygiène publique.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre étude, nous nous sommes proposés de tester quelques mélanges à base de boues résiduaires pour la production de plants de pin maritime (*Pinus pinaster* Ait.) en pépinière hors-sol.

Cette expérimentation vise à :

- Vérifier l'efficacité des boues résiduaires de la station d'épuration comme substrat de culture pour la production de plants forestiers en pépinière hors-sol ;
- Tester les effets d'apports croissants de boues sur le comportement des plants de pin maritime et sur leur santé,
- Caractériser la boue résiduaire au plan physico-chimique.

Ce travail est composé de deux parties :

la première partie est consacrée à une étude bibliographique et se divise en trois chapitres :

- Chapitre I : les boues résiduaires
- Chapitre II : les substrats de culture
- Chapitre III : présentation de l'espèce utilisée

La deuxième partie comporte deux chapitres :

- Chapitre I : matériels et méthodes
- Chapitre II : résultats et discussions

## Les boues résiduelles

### I -Traitements des eaux usées

L'épuration des eaux usées consiste à décanter les éléments polluants particuliers et à extraire les éléments dissous, qui sont transformés en matière sédimentable suite à un traitement approprié. Ainsi, à la sortie de la station, il en résulte d'une part une eau épurée rejetée dans le milieu naturel, et d'autre part il reste des sous-produits désignés sous le terme des boues résiduelles (WERTHER et OGADA, 1999).

Les principaux procédés de traitements des eaux usées qui sont à l'origine de la production des boues sont :

#### I -1-Prétraitement de l'eau

A l'entrée de la station d'épuration, le prétraitement a pour rôle l'élimination des éléments gênants au bon fonctionnement de l'installation.

Quatre étapes sont mises en œuvre :

##### I-1-1-Relevage

L'eau usée est relevée par deux voies d'Archimède à partir des collecteurs vers la station d'épuration située à un plus haut niveau (14 m de dénivellée) .

##### I-1-2-Dégrillage

Tous les débris solides et volumineux sont éliminés après un transit des eaux usées, à travers deux types de grilles ayant un espacement entre les barreaux de 6 cm pour la première et 2 cm pour la seconde.

##### I-1-3- Déshuilage

Enlèvement par écrémage des matières grasses et des hydrocarbures difficilement biodégradables.

##### I-1-4-Dessablage

L'élimination des sables et graviers est réalisée par sédimentation, celles des corps par flottation grâce à une injection d'air.

Le prétraitement qui est un procédé uniquement mécanique permet l'élimination des débris non dégradables qui risqueraient d'entraver le procédé d'épuration de la station (IGOUD, 1991) .

### I-2 -Décantation

L'objectif est de faciliter la précipitation des matières en suspension de diamètre inférieur à 0.2 mm, il existe deux types de décantation.

### ***I-2 –1- Décantation primaire***

Cette étape assure la séparation des particules solides de densité supérieure à celle de l'eau. Ce traitement consiste à laisser décanter ces particules solides puis à les récupérer par un raclage périodique du fond du bassin. Ces déchets vont constituer les boues primaires, qui sont très fermentescibles, celles-ci sont transférées vers la filière boue.

### ***I-2 –2- Décantation secondaire***

Dite aussi clarification, à cette étape, l'eau usée après sa dégradation biologique, forme des floccs de micro-organismes qui se déposent au fond du décanteur secondaire. Ce dépôt formera les boues activées qui sont recyclées et réinjectées au bassin d'aération, l'excès rejoindra les boues primaires.

## **II- Traitements des boues**

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier ces caractéristiques des boues en excès afin de rendre leur destination finale fiable et sans nuisance (DUCHENE, 1990).

le traitement des boues comporte en conséquence les opérations suivantes :

### **II -1 – La stabilisation**

C'est un système qui vise à réduire le taux de matière organique, de manière à empêcher ou du moins à limiter les risques de la fermentation et donc d'odeurs nauséabondes dans les conditions d'aération variables (DUCHENE, 1990). La stabilisation peut être biologique par voie aérobie (compostage) ou anaérobie (méthanisation) ou chimique (chaulage ou autres traitements) (Office International de l'Eau, 2001).

### **II -2- Epaississement des boues**

Cette technique est destinée à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues par conséquent réduire leur volume (ANDRED, 1988 in TEMAGOULT, 2005).

Il existe plusieurs techniques d'épaississement à savoir :

- Epaississement par décantation ;
- Epaississement par élutriation ;
- Epaississement par flottation.

### **II -3-Conditionnement thermique des boues**

L'objectif de cette technique est de modifier les caractéristiques de la boue pour faciliter la séparation des phases liquides et solides.

Il existe plusieurs techniques de conditionnement à savoir :

- Conditionnement par congélation ;
- Conditionnement par charges ;
- Conditionnement électro-acoustique osmose,
- Conditionnement par solvants ou huiles.

### **II – 4 - Traitement à la chaux**

Ce traitement consiste à stabiliser les boues liquides ou déshydratées par l'apport de chaux. Afin que la désinfection se fasse adéquatement, les boues sont amenées à un pH de 12 pendant un minimum de 12 heures (préférentiellement pendant 24 heures). Les avantages relatifs à l'usage de cette technique de traitement résident dans le coût réduit de la chaux et dans le fait que cette dernière, grâce à son alcalinité, a un effet favorable sur la structure physique des boues (GAMRASNI in NAKIB, 1986).

### **II -5- Déshydratation**

La déshydratation a pour but d'éliminer la majeure partie de l'eau contenue dans la boue et l'obtention d'un déchet solide facilement manutentionnable et de volume réduit (NAKIB, 1986). On a alors :

- Séchage sur lit ;
- Séchage par des procédés mécaniques ;
- Séchage thermique.

### **III - Les différents types des boues**

Plusieurs types des boues doivent être différenciés en fonction de leur origine, dans la mesure où leur traitement doit être conçu différemment :

#### **III-1- Les boues primaires**

Sont les dépôts récupérés par simple décantation des eaux usées.

#### **III-2- Les boues secondaires**

Sont les boues issues du traitement biologique, que ce soit en culture libre (boues activées) ou en culture fixée, elles sont donc constituées essentiellement de corps de bactéries et de leur sécrétion.

### **III-3- Les boues mixtes**

Telle est l'appellation du mélange de boues secondaires avec les boues primaires. Les boues mixtes sont celles qui sont issues de la quasi-totalité des filières de traitement complet (DUCHENE,1990).

### **IV- Utilisation agricole des boues**

La production des boues s'accroît et leur élimination s'avère indispensable pour ne pas encombrer les stations d'épuration. Leur mise en décharge nécessite la présence d'une décharge contrôlée sans impact sur l'environnement et à proximité de la station n'est plus convenable que pour des boues stabilisées et suffisamment déshydratées par voie thermique ou mécanique (MUSTIN, 1987). Dans cette perspective, la valorisation des boues en agriculture semble être une solution intéressante (MORENO et al., 1977 in KORBOULEWSKY et al, 2001). Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges (LAMBKIN et al. 2004). Cette pratique est peu coûteuse, facile techniquement, et surtout ces amendements sont de bons fertilisants puisqu'ils sont riches en azote, phosphore et matière organique (HE et al, 1992).

#### **IV-1- Caractéristiques des boues utilisables en agriculture**

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (WERTHER et OGADA, 1999 ; JARDE et al., 2003 ; SINGH et al., 2004). L'analyse des boues d'épuration montre qu'elles sont un vrai fournisseur des nutriments à effet fertilisant qui justifié leur utilisation en agriculture. La matière sèche des boues d'épuration contient en moyenne 45 % de matière organique, 5.8 % de calcium, 4.4% d'azote, 2.7 % de phosphore,0.5% de magnésium et 0.3 % de potassium , elle renferme également du soufre et des oligoéléments comme le cobalt, le cuivre, le molybdène, le nickel et le zinc (FRANZ., 2002).

##### **IV-1-1- Le carbone organique**

La teneur moyenne en carbone des boues de station d'épuration est voisine de celle d'un fumier de ferme (tableau I) ; on peut donc les considérer avant tout comme un amendement organique.

Cependant pour beaucoup d'agronomes, l'effet améliorateur des amendements organiques est implicitement associé à l'aptitude de ceux-ci à fournir une matière organique stable susceptible de modifier dans un sens favorable le comportement du sol dont elle améliore certaines de ses propriétés :

stabilité structurale, capacité d'échange cationique, capacité de rétention en eau, résistance à la compaction, activité biologique .....

**Tableau I : Composition comparée des boues et du fumier de ferme.**

**JUSTE et CATROUX (1980)**

Eléments % de la M.S	Boues (%)	Fumier (%)
C	33,5	36,2
N	3,9	2,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,7	1,3
Ca	4,9	2,6
Mg	0,6	0,3

#### **IV-1-2-L'azote**

Les boues résiduaires peuvent contenir de 1 à 10 % d'azote par rapport à la matière sèche, les concentrations les plus fréquemment rencontrées se situent entre 2 et 5 % (JUSTE et CATROUX, 1980 in TEMAGOULT, 2005). Toute fois sa nature et sa teneur varient beaucoup avec le type de boues selon leur origine et leur mode de traitement (SBIH, 1990)

#### **IV-1-3- Phosphore**

L'élément phosphore existe en quantité à peu près équivalents à celle de l'azote dans les boues. SOMMERS, 1977 in ROULA 2005, donne une valeur moyenne de concentration en phosphore : 4,7% par rapport à la matière sèche. D'après JUSTE (1979), 5 à 6 % du phosphore total des boues se trouve sous forme de phosphates organiques et que le phosphore minéral étant surtout constitué par des associations avec les composés du Fe, d'Al du Ca et du Mg qui abondent dans la plus part des boues. Ces formes de phosphore rencontrées varient selon le type de traitement que subissent les boues.

Cependant les études ayant été consacré à la caractérisation de l'état sous le quel existe le phosphore dans les boues (soluble ou insoluble) sont rares. Dans ce sens RUDOLF et GEHM, in LAMARI, 1979), ont donné les valeurs moyennes suivantes :

**Tableau II : Caractérisation de l'état de phosphore (soluble ou insoluble) dans les boues.**  
**RUDOLF et GEHM ( in LAMARI ,1979)**

Total (PP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % M S )	Insoluble (P P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % M S )	Assimilable (P P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> % M S )
3,25	0,32	2,93

#### **IV-1-4-Les éléments minéraux (K,Ca,Mg)**

Le potassium est très peu retenu pendant le traitement des eaux usées et se trouve en faible quantité dans les boues surtout celle ayant été déshydraté, par contre le calcium se trouve en quantité appréciable de 0,2 à 1,5 % du CaO dans les boues liquides et 2 à plus de 20 % de CaO dans les boues solides (ANDRED,1982) , aussi la teneur des boues en potassium varie de 0,1 à 0,3 de la matière sèche (LAMARI ,1979).

#### **IV-2-Caractéristiques des boues limitant leur utilisation en agriculture**

La teneur des boues en matière organique et en éléments minéraux montre qu'elles constituent à la fois un amendement organique et une source d'éléments minéraux indispensables à la croissance des végétaux. Toute fois, plusieurs travaux signalent des contraintes particulières qui limitent l'emploi de ces boues en agriculture, du fait de la présence d'agents pathogènes, d'éléments traces métalliques et de composés organiques toxiques.

##### **IV-2-1- Les agents pathogènes**

Les boues peuvent être porteuses d'une multitude d'agents pathogènes tels que des bactéries (salmonella,shigella,mycobacterium,..), des virus (hépatite B) , des protozoaires (amibes) ,les helminthes (Ascaris) (JUSTE et CATROUX, 1980, FRANZ ,2002, SAHLSTRM et al., 2004.). Cependant, la désinfection des boues d'épuration par traitement thermique permet de réduire considérablement le nombre de pathogènes, donc l'utilisation agricole des boues hygiénisées ne présente que très peu de danger.

##### **IV-2-2- Les métaux lourds**

La présence des métaux lourds dans les boues de station d'épuration constitue à ce jour le frein principal à l'utilisation de ce type de sous produit en agriculture. La fertilisation avec des boues d'épuration entraîne une accumulation de métaux lourds dans le sol. Selon JUSTE (1979),les métaux les plus rencontrés et qui sont indésirables sont : le Zn, Cu, Fe, Pb, Cd et Hg. Ces éléments deviennent toxiques au-delà d'un certain seuil. Des teneurs plus élevées en métaux lourds dissous mènent une réduction de l'activité biologique du

importante que celle des arbres laissés à eux-mêmes (BASCOUL et al ,2000 et RIPERT, 2000).

#### **IV-2-Valorisation des boues en milieu forestier et agricole**

Au cours de ces dernières années, de nombreuses études sur la valorisation des déchets organiques ont été menées. Il a été montré que l'apport de compost améliore les propriétés physiques du sol, ainsi que sa qualité agronomique, ce qui traduit par l'augmentation de la biomasse de végétaux cultivés et par une récolte plus importante (KIEMMEC et al , 1990 ,MCCONELL et al 1993 et OZORES et al , 1997) L'aspect positif d'épandage des boues résiduaires a été démontré dans de nombreuses études.

COUILLARD,1986 , en utilisant de la boue anaérobie liquide, a constaté que des semis de Mélèze se comporte d'une manière satisfaisante sur un substrat aussi pauvre que du stable ,et que la production de la biomasse croit de 11,40% après quatre mois d'essai en serre .

Au Canada ,GAGNON (1972) ,en appliquant une dose de 560 Kg/ha d'une boue digérée a montré qu'une plantation d'épinette blanche (*Picea glauca*) présentait ,six ans après épandage un gain de croissance en hauteur de près de 40% .

POLAN et al ,1993 ,ont utilisé le compost de boues de stations d'épuration des eaux comme substrat de culture pour la production des plants de pin gris en récipient . Ils ont montré que la proportion de 20 % du compost est révélée le préférable traitement.

Selon OUANOUKI et IGOUD 1993, l'apport des boues anaérobies dans des plantations forestières (*Acacia* et *Pin maritime*) a favorisé la croissance en hauteur, l'augmentation en rendement en produits ligneux et le taux de survie.

De même, COUILLARD et GRENIER, 1988 ont pu noter que la production de biomasse augmentait avec des applications de boues répétées (comparativement à une application massive) et que pour un même nombre d'applications, les doses plus grandes produisent le meilleur résultat. Ils ont en outre pu mettre en évidence d'application de doses plus grandes. Les quantités utilisées devant l'expérience varient de 605 Kg /ha à 10890 Kg/ha en boue sèche.

KORBOULEWSKY et al, 2001, montrent que dans une expérimentation conduite dans un vignoble, l'épandage du compost de boues de station d'épuration a enrichi le sol en carbone organique et en azote, en particulier les formes assimilables par les végétaux (N-NO<sub>3</sub> - et N-NH<sub>4</sub>).

D'après LETACON (1978), l'élimination de la phase de maturation diminue le taux de survie de plantation. Les plants survivants souffrent de nécrose, chlorose et autres symptômes de toxicité, les taux de survie variant de 60% avec une boue non stabilisée à 100 % après six mois d'épandage de la boue à l'aire libre. Les auteurs ont également relevé la nette augmentation de la biomasse produite et l'amélioration sensible de la nutrition minérale suite à des apports élevés (1000t/ha) .

## Les substrats de cultures

### 1- Définition du substrat de cultures

Selon BLANC, 1987, le terme substrat s'applique à tout matériau naturel ou artificiel placé en conteneur pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue ainsi vis-à-vis de la plante le rôle de support. Certains substrats dit enrichis, contribuent à l'alimentation hydrique et minérale des plants.

De leur côté ARGILLIER et al (1990), définirent le substrat de culture comme le milieu dans lequel se développe le système racinaire du plant, il doit assurer les fonctions de support physique des cultures, de la nutrition hydrique et minérale et de l'espace pour la croissance et la respiration des racines.

### II- Différents types de substrats de cultures

D'après CHEVALIER (1985), GARBAYE (1986) et PIVOT et al (1994), on peut utiliser comme substrat cultural des matériaux d'origine minérale; Laine de roche, de l'argile ou des roches volcaniques expansées. Ces matériaux permettent l'ancrage des plantes et peuvent être réutiliser plusieurs fois. Comme autres matériaux nous pouvons employer ceux d'origines organiques : dérivées cellulosiques, des tourbes, écorces de bois, granulats de liège, déchet d'olive..

#### II-1-Matériaux organiques

D'après ANSTET cité par TAGHILT (1984), les matériaux organiques sont des terreaux physico-chimiques actifs et capables de stocker ou de céder des éléments nutritifs aux végétaux.

#### II-1-1-Matériaux organiques naturels

##### II-1-1-1-Les tourbes

D'après GOBAT et al (1986), la tourbe est une couche de l'enveloppe terrestre constituée surtout par la matière organique à structure le plus souvent fibreuse, issue d'une décomposition lente de végétation par les microorganismes anaérobies du sol.

Selon DUCHAUFOR (1977, 1980), la tourbe est définie comme un type d'humus formé en aérobose permanente, c'est une couche souvent de plusieurs mètres dont l'humification ne s'effectue que partiellement surtout après un assèchement superficiel des sites humides

### II-1-1-2-Les écorces

Matériaux organiques provenant de l'exploitation forestière. l'écorce joue le rôle d'aérateur dans la confection des mélanges binaires. Selon BLANC (1985), l'utilisation des écorces est très fréquente dans le monde : sapin de Norvège, hêtre, peuplier, pin, épicéa,...

En Algérie, l'écorce de pin maritime est de loin le plus utilisé, tant pour ses disponibilités et ses qualités.

#### a) - Composition et caractéristiques des écorces

Selon FOUCARD (1994), la composition et les caractéristiques des écorces ainsi que leur intérêt sont variables selon l'origine de ces dernières (tableau IV).

**Tableau IV : caractéristiques des écorces**

Origine	Matériaux d'origine organique provenant de l'exploitation forestière
Caractéristiques	-densité apparente : 0,2 à 0,3 porosité : 85 à 90 % Volume d'air à pF1 : 25 à 50 % Capacité de rétention : 30 à 60 % Disponibilité en eau : 5 à 30 % Capacité de rétention en eau : 90 à 180 meq/l
Intérêts	Prix parfois très intéressant. Possibilité d'emploi à l'état frais des écorces de pin maritime et de sylvestre à condition d'augmenter légèrement la fourniture d'azote Améliorent l'aération des substrats
inconvénients	- compostage impératif (à l'exception des écorces des espèces cités précédemment) dans le but de dégrader les substances phytotoxiques et abaisser le C/N , susceptible de provoquer un blocage de l'azote.
Méthode de compostage	en andains - arroser et réaliser des retournements fréquents après l'incorporation d'1 à 2 kg d'azote par m <sup>3</sup> sous forme ammoniacale ... duré de 3 à 6 mois surveiller l'évolution de la température de compostage

### II-1-1-3-Déchets cellulo –ligneux

D'après MOINEREAU et al (1987), de nombreux sous produits agricoles et industriels autres que les écorces peuvent servir à la fabrication de substrat de culture, c'est le cas des déchets cellulo ligneux. Ces composés se caractérisaient par une faible densité apparente et donc une porosité élevée, à l'état frais se sont des matériaux très aérés et de faible rétention en eau.

Parmi les déchets cellulo -ligneux nous pouvons citer par exemple :

- les sciures de bois
- les pailles de céréales
- granulés de liège
- Marc de raisin

## **II -2 - Matériaux minéraux**

Ce type de matériaux se classe dans la catégorie des substrats physico-chimiques inactifs, et n'interviennent pas dans l'alimentation minérale des plants (CROZON et al ,1990). Parmi ces matériaux on distingue :

### **II -2-1- Matériaux minéraux naturels**

Ce sont des matériaux qui ne subissent aucune dégradation et sont chimiquement neutres, parmi les matériaux les plus utilisées en pépinière on cite : le sable, la pouzzolane et le gravier...

#### **II-2-1-1- Le sable**

Le sable est une matière minérale pulvérulente, composée d'un ensemble de particules généralement fines (0.02 mm de diamètre), provenant de la désagrégation des roches siliceuses ou calcaires ayant la même composition que les minéraux qui constituent la roche (ARGILLIER et al ,1994 ).

#### **II-2-1-2 - Les pouzzolanes**

Matériaux d'origine minérale très aérés, de grande stabilité et durabilité, chimiquement inerte, initialement exempt de germes pathogènes et ultérieurement facile à désinfecter (MOINEREAU et al ,1987 in BLANC 1987 et FOUCARD, 1994).

#### **II-2-2-Matériaux minéraux expansés**

Ce sont des matériaux naturels qui ont subi un traitement par chaleur (CROZON et NEYROUD, 1990). Parmi ces matériaux on distingue : la perlite, la vermiculite, l'argile expansée et la laine de roche

##### **II-2-2-1- Argile expansée**

Ce matériau est obtenu par granulation et chauffage à 1100 c° de modules d'argile humide. Des granulats d'argile expansée peuvent entrer dans la fabrication des mélanges à base de tourbe (FOUCARD, 1994).

### II-2-2-2- La perlite

La perlite provient du chauffage à 1200 °C d'un silicate volcanique. C'est un matériau peu dense, ayant des propriétés hydriques et une aération variable, très friable. La perlite peut être incorporée dans les mélanges en pépinières (CAMPREDON, 1985).

### III- Qualités requises pour un substrat de culture

Un substrat idéal serait un produit dont les qualités physiques et physicochimiques resteraient constantes et dont la puissance d'alimentation serait proportionnelle aux besoins de la plante.

Dans la fabrication des substrats les objectifs recherchés étant:

- Substrat répandant totalement aux besoins nutritionnels de la plante tant d'ordre physique (air - eau) que d'ordre chimique (éléments majeurs et mineurs);
- Substrat pathologiquement indemne tant au point de vue parasites animaux que végétaux;
- Substrat indemne de plantes adventices et de leurs graines;
- Substrat économique: prix de revient et disponibilité.

### III-1- Du point de vue physique

Les propriétés physiques des substrats jouent un rôle important dans l'alimentation en eau du végétal et dans le fonctionnement des racines: aération et température. Les principales propriétés physiques sont:

#### III-1-1- La structure

Est une notion très importante dans la pratique, car elle conditionne la circulation de l'air, de l'eau et l'enracinement (CALLOT in BAIZE et al 1995). Une bonne structure (grumeleuse) assure une grande facilité de circulation d'eau.

#### III-1-2- La perméabilité

La perméabilité est indépendante du taux de la matière organique. Selon REDLICH et VERDURE, (1975), un taux élevé de matière organique n'indique pas forcément 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 est inversement. Elle doit être élevée dans les substrats de culture. Le critère retenu pour mesurer la perméabilité est la vitesse de percolation de l'eau exprimé en cm<sup>3</sup>/5m. Selon ARGILIER et al 1991, un bon substrat doit avoir une vitesse de percolation standard supérieur ou égale à 20 cm<sup>3</sup>/5m.

### III-1-3 - Porosité

La porosité (Pt) est définie par le rapport exprimé en pourcentage, entre le volume des vides et le volume total offert aux racines (Ve) :

$$Pt = Vv/Ve \times 100.$$

Un bon substrat de culture doit présenter une forte porosité totale (60 à 80%) en volume, tout en conservant une bonne tenue mécanique pour la stabilité du plant :

- Une micro porosité suffisante assurant une disponibilité en eau facile.
- Une macro porosité importante qui assure une bonne aération, un espace pour un bon développement racinaire limitant la tendance aux enroulements (ARGILIER et al, 1991, BAIZE ,2000).

**Tableau V: Exemple de porosité totale de matériaux utilisés dans les substrats (d'après RIVIERE ,1980)**

MATERIAUX	POROSITE (%)
Perlite	96.4
Vermiculite	95.4
Laine de roche	95
Tourbe blonde	92
Tourbe noire	88
Sable grossier	88
Ecorce	85
Pouzzolane	70
Terre argileuse	45
Gravier	42.2

### III-1-4 - La rétention en eau

La simple expression de la teneur en eau du substrat de culture, nous renseigne sur la quantité d'eau nécessaire à mettre à la disposition du plant.

Un bon substrat de culture doit avoir une disponibilité en eau supérieure à 20%, elle représente la différence entre la teneur en eau maximale du substrat (PF1) qui correspond approximativement à la capacité au bac, et la teneur en eau minimale qui correspond à Pf2.

### III-1-5-La stabilité physique

Le substrat de culture doit être physiquement stable, la stabilité signifie qu'il conserve ses qualités durant toute la période de culture :

- Résistance du substrat au tassement de la surface par l'impact de l'eau d'irrigation
- Résistance du substrat au tassement par rétraction : à l'alternance d'humectation et

de dessiccation, le substrat peut se rétracter et perdre du volume.

### III-2- Du point de vue chimique

#### III-2-1- Le pH

La connaissance du pH de substrat est nécessaire pour la satisfaction des exigences des plantes. Il agit sur l'assimilation des éléments nutritifs. Pour une bonne nutrition minérale des plants, il doit être compris entre 5 et 8 (FOUCARD, 1994).

Le pH a une incidence sur la facilité du plant à se nourrir, il influe aussi sur la contamination par divers champignons (à l'origine de la fonte de semis par exemple). Trop acide il peut être à l'origine de brûlure des racines (FALCONNET et al, 1992).

**Tableau VI: Exemple de pH (H<sub>2</sub>O) des principaux matériaux de base pour substrat (LEMAIRE et al,1990)**

Substrats	pH H <sub>2</sub> O
<b>Matériaux organiques</b>	
Tourbe blonde	4.5
Fibre végétale	4.5
Tourbe brune	5.0
Ecorce de pin fraîche	5.1
Composts urbains	6.5
Ecorce de feuillus compostées	7.5
<b>Matériaux minéraux</b>	
Terre argilo- limoneuse	5 à 7.5
Sable	6 à 8
Perlite	6.9
Laine de roche	7.5
Vermiculite grossière	7.5
Argile expansée	8
Vermiculite fine	8.7

### III-2-2- La conductivité électrique (CE)

La salinité est reliée à la quantité totale d'ions minéraux en solution et d'autres minéraux contenus dans le substrat et l'eau d'irrigation. Elle est exprimée en terme de mmhos/cm ou milli-Siemens/cm (mS/cm est l'unité utilisée dans le système international). Une valeur élevée représente une grande quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption d'eau et d'éléments nutritifs par la plante et peut même brûler les racines. Donc, il est nécessaire que la quantité de sels soit suffisante pour alimenter le plant, mais sans être excessive ; Pour ne pas provoquer de problème de toxicité.

BAIZE. (2000), propose une échelle couvrant le domaine des sols très salés comme on rencontre le long du littoral méditerranéen. Cette échelle est exprimée en fonction de la CE et de la somme des anions.

**Tableau VII : Classe de salinité en fonction de la CE de l'extrait de patte saturée et de la somme des anions (BAIZE, 2000).**

Classe	Désignation	Conductivité électrique en mmhos/cm à 25c°	Somme des anions (meq/l)
0	Non salé	<2,5	<25
1	Faiblement salé	2,5 - 5	25 -50
2	Moyennement salé	5 - 10	50 - 105
3	Salé	10 - 15	105 - 165
4	Fortement salé	15 - 20	165 - 225
5	Très fortement salé	20 - 27,5	225 - 315
6	Excessivement salé	27,5 - 40	315 - 620
7	Hyper salé	40	620

### III-2-3- Le rapport C/N

Le rapport C/N traduit la capacité minéralisatrice : Plus cet indice est élevé, moins cette capacité est bonne (SARAG,1985). Un rapport C/N bas, inférieur à 25 accélère la décomposition et limite par conséquent les possibilités d'humification (DOMMERGUE et al ,1970). Dans le cas des substrats organiques préparés à partir de substances naturelles se 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 2 à 300.

**Tableau VIII: Rapport (C/N) de différentes matières organiques.**  
(LEMAIRE et al 1989)

Type de matière organique	C/N
Fumier de bovin	28
Fumier d'ovin	23
Fumier de champignonnières	19
Ordures ménagères fraîches	30
Composts urbains	14
Boues tout venant	11
Tourbes blonde française 1	20-25
Tourbes blonde française 2	26
Tourbes blonde russe	54
Tourbes allemande	49
Ecorce de pin maritime non composté	300
Ecorce de pin sylvestre composté	92

### III-2-4 - La capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique représente la quantité totale de cations qu'un milieu peut absorber et échanger, on l'exprime en (meq/100g ). Un substrat à forte capacité d'échange, généralement constitué par la matière organique, perdra peu d'éléments nutritifs par lessivage et les risques de salinité excessive seront également réduits et donnera au substrat « un pouvoir tampon ». L'intérêt d'utiliser en culture hors-sol un substrat ayant une CEC élevée, qui pourra ainsi mettre à disposition de la plante les éléments nutritifs au fur et à mesure de ses besoins, notamment tant que l'on ne connaîtra pas parfaitement les rythmes d'absorption des éléments minéraux (ARGILIER et al 1990,1991).

**Tableau IX: Exemple de capacité d'échange cationique des principaux matériaux de base pour substrat (d'après VERDURE 1988, LEMAIRE et DARTIGUES 1990 in FOUCARD 1994)**

Substrats	CEC en meq/l de substrat
<b>Matériaux organiques :</b>	
fibre végétale	10
Ecorce de pin fraîche	95
Tourbe blonde	115
Ecorce de pin composté	100 à 150
Composte urbain	150
Ecorces de feuillus compostées	180
Tourbe brune	200 à 400
<b>Matériaux minéraux :</b>	
Laine de roche	0
Vermicule fine	0 à 2
Argile expansée	0 à 5
sable	0 à 10
Pouzzolane	1 à 3
Perlite	2 à 6
Vermiculite grossière	20 à 30
Terre argilo limoneuse	200 à 3000

#### IV- Nécessité des mélanges en pépinière

Le substrat de culture est composé d'un élément rétenteur d'eau et d'un élément aérateur, un seul élément ne permet pas en générale de satisfaire à la fois les besoins en eau et en air de la plante, d'où il est nécessaire de faire des mélanges pour mieux répondre aux exigences des plants.

Selon ARGILIER et al, 1990, le choix des rétenteurs d'eau se limite aux tourbes blondes ou tourbes noires à longues fibres, dont la stabilité physico-chimique est meilleure durant toute la période d'utilisation, le choix des aérateurs est plus vaste : perlite, écorce de pin, pouzzolane, marc de raisin, vermiculite etc.....

## Le pin maritime

### I - Systématique

#### I-1- Classement du pin maritime dans le règne végétal

D'après EMBERGER (1960), le classement du pin maritime s'ordonne comme suit :

- Embranchement : Gymnospermes.
- Sous embranchement : Conifères.
- Ordre : Pinales
- Famille : Pinacées
- Genre : Pinus
- Espèce : *Pinus pinaster* Ait.
- Nom arabe : senoubre –El Bahri
- Nom berbère : T'aida.

### II- Caractères botaniques et forestiers

Le pin maritime est un arbre de première grandeur qui dépasse généralement 20m de hauteur pouvant atteindre 30-40m (PARDE,1946 et BOUDY,1950) . Son écorce est très épaisse, profondément fissurée dès l'âge de 15 ans, brun rouge, puis brun très foncé, presque noire. Son houppier est conique, étalé, et peu compact. Son système racinaire est fortement enraciné, comporte une racine principale pénétrante et des racines secondaires bien développées (SEIGUE. 1985 et MAUGE, 1987). Les aiguilles sont groupées par deux, longues de 15 à 25 cm, rigides, peu piquantes et épaisses de 2 à 2.5 mm, la couleur est verte sombre,persistante , présentant des stomates sur les deux faces . La cime est assez claire,conique au premier âge ,puis irrégulière lorsqu' elle dépasse la trentaine (ANONYME ,1987).

Sur le plan du régime de reproduction, le pin maritime est une espèce sempervirente, monoïque, allogame, qui fleurit en avril/mai produisant un pollen abondant, à dispersion anémophile. Il fructifie abondamment dès l'âge de 12 ans, ses cônes sont volumineux (10 à 18 cm), faiblement pédonculés, bruns luisant qui contiennent des graines ailées, ils sont groupés en verticilles par deux, trois ou plus (SEIGUE ,1985 et DUBOS, 2001).

Mûres à l'Automne de la 2<sup>ème</sup> années et restant souvent sur l'arbre plusieurs années (GUYON, 1980). La dissémination des graines est assurée surtout par le vents, mais sur des distances assez courtes. Sa longévité est assez faible, au maximum 150 à 200ans (fig1. Enfin, le pin maritime possède de nombreux ennemis comme la chenille processionnaire, la pyrale du tronc, les cochenilles (*Matsuccocus feytaudi*) et certains champignons

(DESPREZ-LOUSTAU et al, 1994, JACTEL et al ,2005, BARITEAU , 2005 et RAFFIN , 2005).

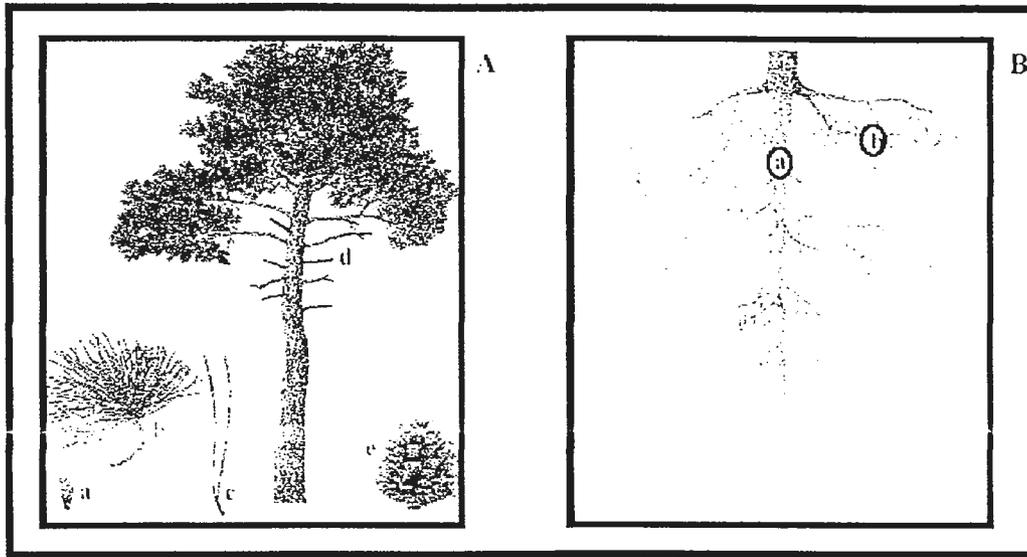


Fig 1 : Le pin maritime. A): Parties aériennes. a : graine ; b : aiguilles ; c : fascicule; d : tronc et branches ; e : cône. B) : Système racinaire. a : racine plongeante ; b : racine traçante. D'après Farjon (1984).

### III - Aire de répartition

D'après DUBOS (2001), Le pin maritime est une espèce autochtone du bassin méditerranéen occidental et de la façade atlantique, entre les latitudes 31° et 46° Nord et les longitudes 9° et 13° Est. Bien que le pin maritime nécessite un habitat bien caractéristique, c'est une espèce qui possède une aire naturelle de répartition très morcelée, aux régimes climatiques et aux caractéristiques pédologiques très diverses. En effet, l'aire naturelle du pin maritime s'étend du sud au nord, du Maghreb (Tunisie, Algérie et Maroc) à la Vendée (France) et d'ouest en est, du Portugal à l'Italie. Les principaux peuplements sont concentrés dans la partie occidentale du bassin méditerranéen et la façade atlantique sud-ouest de l'Europe (DESTREMAUX, 1974 in BOUCHAREB ,1997).

Même si le pin maritime est une essence colonisatrice, son aire d'extension naturelle reste faible. Cependant, le pin maritime a été introduit au Chili (100 000 ha), en Australie occidentale (50 000 ha), en Afrique du Sud (40 000 ha), en Argentine, en Nouvelle-Zélande (3 000 ha) et en Grèce (10 000 ha). Des tentatives d'introduction ont également été réalisées en Corée, Uruguay et aux Etats-Unis. Actuellement, le pin maritime est étendu sur une surface de 500 000 hectares en Australie de l'ouest sur des surfaces caractérisées par des sols salins.

### III -1- Dans le monde

#### a) - En Europe

On le rencontre surtout à l'ouest, au Portugal, en Espagne, en France et en Corse.

#### B) -Au Maghreb

Le pin maritime se rencontre dans le Rif occidental et oriental et dans le moyen et le haut Atlas (ARBEZ, 1987 in KHALDI,1994). Il occupe une superficie de 14 000 ha.

- **En Tunisie:** il couvre une surface d' environ 2 000ha (Forêt de Baccouche) sur la bordure méditerranéenne des monts Kroumi (DESTREMAUX ,1974).
- **En Algérie :** selon BOUDY (1950), les peuplements naturels occupent une superficie de 12000 ha . Son aire se limite à la région littorale de Bejaia à El\_Kala (BENSAID ,1981) et se répartie comme suit :

- Au sud de Bejaia (Forêt de Beni Mimoun)
- Dans la région de Collo (Forêt de Bougarouni ).
- A Jijel (Forêt de Sanhadja).
- A Annaba (Forêt de Bouchie de Belle, en association avec le chêne-liège).
- En Kabylie (Forêt de Hamendas).

### IV - Association végétale

Elle varie selon, qu'il s'agit de la race du littoral ou de celle de montagne. Pour la première, elle comprend : Le Chêne liège, le chêne zéen, l'Arbousier, la Bruyère à balai et la Bruyère arborescente, le Myrte, le Ciste à feuille de sauge et de Montpellier, le Genet de Numidie, le Daphné Gnidium. Pour la race Montagnarde : le Chêne vert, le Chêne zéen, le Pin d'Alep, le Cèdre, le Romarin, l'Epine vinette d'Espagne, le Philaria , le Genet à 4 fleurs, la Viorne-tin, les Cistes, le Daphné (BOUDY , 1950).

### V- Ecologie

#### V-1 - Le climat

Le pin maritime ne peut se prospérer que dans les étages bioclimatiques humides et subhumides à hiver tempéré et chaud (quelque fois frais). Il exige une tranche pluviométrique d'au moins 800 à 900 mm. Bien adapté aux climats maritimes très tempérés, surtout fréquent dans les territoires ou la température moyenne annuelle comprise entre 10 et 16 c° (AUBERT, 2005), exige une légère humidité de l'air.

D'après AUBERT(2005), le pin maritime est une essence thermophile (essence de lumière), redoutant les hivers rigoureux et les gelées printanières.

## V-2 -Conditions édaphiques

Le pin maritime se développe sur tous les types de sol sauf sur ceux présentant de calcaire actif à moins de 40 cm de profondeur (BERNARD, 1995).

Certains auteurs (PARDE, 1946) considèrent le pin maritime comme essence absolument calcifuge qui présente des signes de chlorose lorsque le taux de calcaire actif s'élève. Il s'adapte mieux aux sols acides très pauvres et préfère les terrains siliceux frais et profonds (ARBAIZE, 1987). Les terrains argilo- caillouteux en pente ne conviennent guère au pin maritime (DEVERTHAMON, 1995).

## VI- Régénération du pin maritime

### VI- I- Régénération naturel

La régénération naturelle des forêts de pin maritime, est obtenue généralement à partir d'un semis naturel. Selon JEAN (1995), la régénération naturelle du pin maritime devient facile essentiellement sur des dépôts continentaux de sables et d'argile ; par contre elle est très difficile, dans les pelouse sèches de la série de chêne- vert du pin d'Alep.

### VI-2- Régénération Assistée

#### a) - Semis direct

Méthode facile et couramment employée sur un terrain, découvert après labour en plein ( 10-15Kg de grain /ha ) assez tôt en printemps, ou à l'Automne ( ANONYME ,1987) Le semis direct constitue la technique traditionnelle chez le pin maritime. En France ce mode de régénération représente plus de 90 % des surfaces reboisées ( ANONYME,1990).

#### b)- la plantation

Généralement, c'est la technique la plus utilisée en Algérie, à l'aide des plants élevés en pépinière. La plantation se fait à une distance de 2 m sur des lignes disposées tous les 4 m (densité de 1250 plants /ha ). Cette densité pourra être modulée suivant la richesse du sol et la qualité génétique des plants (graines de verger, ou bouture de familles sélectionnées) , (ANONYME ,1995) .

## VII- utilisations et intérêt du pin maritime

D'après CALLEN (1977), les utilisations principales concernent la production de bois d'œuvre (parquets, lambris, moulures, meubles, contreplaqué, charpente et surtout palettes) et de bois d'industrie (pâte et papier, panneaux de particules ou de fibres).

Historiquement le pin maritime a été aussi utilisé depuis la plus haute antiquité pour la production de la gemme (ARBEZ,1987). Après une série de transformation de la gemme récoltée, on obtient l'essence de térébenthine, l'essence partie fluide est employée

dans les vernis, la peinture, la médecine humaine et animale. on obtient de la résine aussi de la colophane, la brai... (CALLEN, 1977 in BOUCHAREB, 1997).

De même, il contribue à la protection des sols en secteur sableux littoral grâce à sa bonne résistance aux embruns marins et la salinité du sol (BECKER, 1977).

# **Deuxième partie**

## **Etude Expérimentale**



## **I- Présentation de la station**

Notre zone d'étude se trouve dans la commune d'El-Aouana, plus précisément à la station de recherche forestière de l'I.N.R.F, au niveau de la pépinière expérimentale en hors sol.

Le climat est de type méditerranéen, avec une température moyenne annuelle de 17.84 °C et une température minimale de 9.1 °C enregistrée au mois de janvier, maximale de 27.9 °C enregistrée au mois de Août, et une pluviométrie annuelle de 1031.7mm/an (station météorologique d'aéroport de Jijel).

## **II- Matériels et méthodes**

### **II-1- Matériaux utilisés**

#### **II-1-1-Eléments rétenteur d'eau**

##### **a)- Humus forestier sous feuillus (suberaie)**

Matériau organique naturel, issue de la décomposition de la litière accumulée sous une végétation de chêne liège provenant de la région d'oued Kissir (Jijel).

Les principaux caractéristiques sont:

- Capacité de rétention en eau : 36 % du volume
- pH légèrement acide : 6.5
- Porosité appréciable : 77 %
- Riche en éléments nutritifs

##### **b)- Boue résiduaire**

Résidus de la station d'épuration des eaux usées (rejets domestiques) de la ville de Sétif, sa nature est liée à la composition de l'effluent et aux techniques des traitements.

La boue utilisée dans notre expérimentation est d'une couleur noir foncé, odeur désagréable. Elle est utilisée par les agriculteurs de la région à l'état frais, comme engrais pour leurs cultures, en absence de tous contrôles ou règlement autorisant son usage, elle nous a été apportée de la station de l'I.N.R.F de Sétif, en janvier 2006.

#### **II-1-2- Eléments aérateurs**

##### **- Granulés de liège**

Ce sont des particules d'origine organique provenant de la transformation de liège, puis incinéré dans un four à une température de 400 °C (ces particules sont utilisées dans l'industrie de liège pour la fabrication des panneaux en aggloméré pour l'isolation). Il faut noter que le passage des granulés dans le four, peut être considéré comme une opération de stérilisation, car elle permet d'éliminer des phytotoxines, et aussi le taux élevé de tanin.

Ces particules ont été expérimentées comme élément aérateur dans la confection des substrats de culture.

Les principaux caractéristiques sont :

- Léger, masse volumique de 0.065 g/ cm<sup>3</sup>, porosité importante 96%.
- Granulométrie 4 à 10 millimètres, capacité de rétention 3%.
- pH neutre à légèrement acide (6,4), conductivité électrique 0.07milimhos /centimètre
- Taux d'azote de 1.4 %.

### **II -1-3- conteneurs « W.M »**

On a utilisé lors de l'essai des conteneurs « W.M » de RIEDACKER. Ces conteneurs sont sans fond, constitués de deux parois rigides en polyéthylène emboîtable plié sous la forme de lettre alphabétique W ou M, de hauteur 17 cm pour 5.5cm de coté et son volume est de 400Cm<sup>3</sup>.

Ce type de conteneur présente des angles inférieurs à 40°C, donne au système racinaire une progression verticale qui permet d'éviter le phénomène de spiralisation des racines latérales ; il est réutilisable 3 à 4 fois et même plus.

### **II -1-4- les caissettes**

Il s'agit de caissettes en plastique de dimension 51x35x15cm. Elles présentent des ouvertures dans leurs fonds, chaque caissette peut contenir 40 conteneurs de 400 cm<sup>3</sup>.

### **II-1-5 le matériel végétal**

Il s'agit d'un lot des graines mures de pin maritime récoltées durant l'année 2005 dans la région de Kissir d'El -Aouana, à une altitude de 15 m de la mer. Le choix de cette espèce se justifie par sa croissance rapide, ses performances dendrométriques et sa résistance aux embruns marins.

## **III- Méthodes**

### **III-1- préparation des substrats**

#### **III-1-1- tamisage**

La boue sèche et l'humus forestier ont été tamisés à 12 mm afin d'éliminer les résidus et d'avoir un matériau homogène.

#### **III -1-2- Mélange et choix des substrats**

Les mélanges utilisés sont composés d'un élément aérateur et d'un élément rétenteur d'eau, dans notre essai, les éléments rétenteurs d'eau sont constitués de la boue résiduaire et de l'humus forestier sous subéraie, quand à l'élément aérateur, il est formé des granulés de liège incinérés. Ces mélanges ont été préparés manuellement à

dans des conteneurs « WM » 400cm<sup>3</sup>. Le tableau suivant donne la composition et dénomination des différents substrats testés :

**Tableau X : composition et dénomination des substrats testés**

Substrats	Mélange		
	Eléments rétenteurs d'eau		Eléments aérateur
	Boue résiduaire (%)	Humus forestier (%)	Granulé de liège(%)
S <sub>1</sub> Témoin	0	50	50
S <sub>2</sub>	50	0	50
S <sub>3</sub>	40	10	50
S <sub>4</sub>	30	20	50
S <sub>5</sub>	20	30	50
S <sub>6</sub>	10	40	50

### III -2-protocole expérimental

Le dispositif expérimental est de type bloc aléatoire complet avec trois répétitions, les conditions d'expérimentation sont identiques pour l'ensemble du dispositif. Chaque bloc est composé de 6 mélanges, chaque mélange est représenté par deux caissettes, contenant chacune 40 plants, soit un total de 1440 plants, les caissettes sont surélevées de 20 cm par rapport au sol (fig. 2 ).

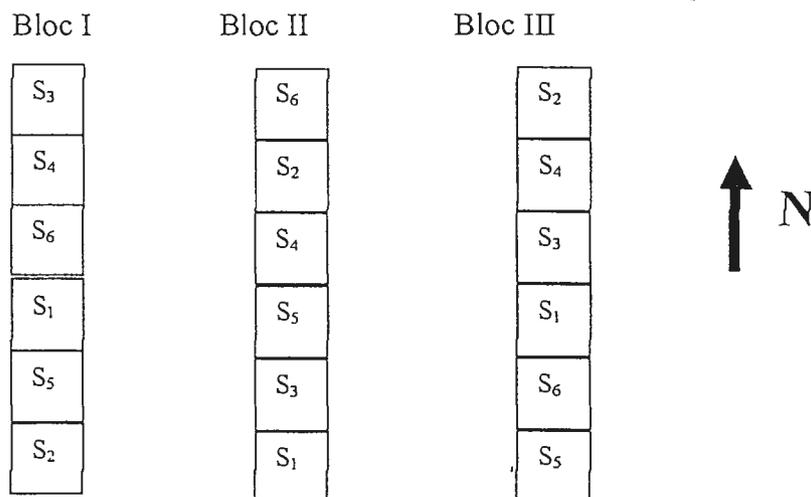


Fig 2 : plan du dispositif expérimental



photo1 : dispositif expérimental

### III-3- conduite de l'élevage

#### III-3-1- traitement des graines

Afin d'activer la germination, les graines destinées au traitement ont subi un trempage dans l'eau tiède pendant 24 heures, les graines plaines entraînées par leur poids au fond du récipient sont récupérées pour être semées plus tard, tandis que les vaines (jugées vides) seront inutilisables. Le trempage des semences facilite la germination et l'active (probablement par action sur la paroi), et elle est d'autant plus efficace dans l'eau tiède ou chaude jusqu'à 70% (AFOCEL,1986).

#### III-3-2- semis

Nous avons semé 3 graines par conteneur à quelques centimètres de profondeur (2-3cm) pour optimiser la germination, les graines ont été semées le 24 février 2006.

#### III-3-3 - l'arrosage

Au début de culture, les plants sont irrigués 2 fois par semaine pour éviter la contamination de la fonte des semis (pas d'arrosage baignant), ensuite cette fréquence augmente selon les besoins des plants et particulièrement en période estival.

#### III-3-4- démariage

Cette opération consiste à ne laisser qu'un seul plant par conteneur. Elle a été effectuée deux mois après le semis.

### **III-3-5- traitements sanitaires**

#### **III-3-3-5-1- contre les mauvaises herbes (désherbage)**

Le désherbage est nécessaire dès l'apparition de mauvaises herbes, car celles-ci exercent sur les plantules des actions nuisibles ; en étouffant les semis provoquant ainsi une baisse de fertilité. Ce dernier a été effectué manuellement et continue dans le temps.

#### **III-3-5-2- Contre les champignons**

La fonte des semis est une des plus graves maladies en pépinières. Il s'agit d'une maladie cryptogamique causée par des champignons microscopiques. Elle fait disparaître les jeunes plantules dans des proportions parfois très élevées, atteignant 70 à 80 % (PERRIN,1996). Les graines sont contaminées au moment de la germination, elles sont envahies par des micro-organismes pathogènes existant dans les sols forestiers et parfois portés par les téguments (AZOUAOUI,1996). Comme mesure préventive, nous avons utilisé au début du semis un fongicide à large spectre d'action (manebe) , avec une dose de 10 ml /16l d'eau .

### **IV Mesures et observations**

#### **IV-1-la levée des semis**

On parle de levée dès qu'il y a apparition d'une plantule de pin maritime, à chaque fois que plantule apparaît, on la compte jusqu'au dernier relevé, soit environ un mois (18/03/2006 au 16/04/2006) au total 9 relevés ont été effectués (annexe1).

#### **IV-2-le taux de survie**

Le taux de survie est calculé, dans notre cas, par rapport au nombre total des graines semis, il représente le nombre total des plantes restant en vie, par rapport, au nombre total des graines ayant levées (annexe 2).

#### **IV-3-Mésures des hauteurs des tiges et des diamètres au collet**

Durant leur période de séjour en pépinière, les plants ont fait l'objet de mesures biométriques. Ces dernières ont débuté à partir du troisième mois après le semis, et ont concerné la hauteur de la tige, et le diamètre au collet des plants, selon une périodicité mensuelle.

#### **IV-3-1- technique d'échantillonnage**

A fin de minimiser les risques d'erreurs et arriver à une grande fiabilité dans les testes statistiques, nous avons opté pour un échantillonnage optimal et réalisable soit 25% de l'effectif (10 plants par caissette ), ce qui représente un total de 360 plants mesurés chaque mois. Le choix des plants est aléatoire au sein des caissettes et dans chaque bloc. Ces mesures mensuelles ont été effectuées sur les mêmes plants fixés au départ.

#### **IV -3-2 La hauteur de la tige**

La hauteur de la tige a été déterminée, en mesurant à l'aide d'une règle graduée, l'intervalle séparant le collet et le bourgeon terminal (annexe 3).

#### **IV 3-3- Diamètre au collet**

Cette mesure a été réalisée au niveau du collet, à l'aide d'un pied à coulisse d'une précision du 1/10mm, le collet ou ligne de séparation entre la tige et la racine d'une plante, est une partie particulièrement sensible. La mesure a été effectuée avec beaucoup de précaution, afin d'éviter tout geste susceptible de traumatiser la croissance de plant (annexe 4).

#### **IV-4- Etude de la biomasse**

Pour des raisons pratiques, nous avons prélevé aléatoirement quatre plants par substrat et par bloc, soit au total 72 plants. Les éléments composant le conteneur sont d'abord séparés, le plant ensuite est émotté soigneusement, pour garder le maximum de masse racinaire. La partie aérienne est séparée du système racinaire à l'aide d'une lame. La partie souterraine est rincée, pour éliminer toutes les particules de terre, susceptibles de fausser les résultats. Les pesées sont effectuées pour déterminer le poids frais de la partie aérienne (tige + feuilles), et souterraine (pivot + racines latérales) avec une balance électronique de précision (annexe 5 et 6)

##### **IV-4-1- Poids sec de la partie aérienne**

Le poids sec de la partie aérienne, a été déterminé après séchage à l'étuve à une température de 105°C, pendant 24 heures (annexe 7).

##### **IV-4-2-Poids secs de la partie souterraine**

La partie racinaire du plant, est placée dans une étuve à 105 °C pendant 24 h puis pesée à l'aide d'une balance électronique de précision (annexe 8).

**IV- 5- Aspects qualitatifs :** ces observations ont été effectuées à la fin de cycle d'élevage des plants. Quatre paramètres sont observés ; la vigueur du plant, l'état sanitaire, la colonisation de la motte et le développement racinaire.

#### **V- Analyses physico-chimiques**

Pour caractériser la boue et les différents mélanges utilisés, nous avons procédé à des analyses physico-chimiques au laboratoire.

## **V-1-Analyses chimiques**

### **V-1-1- Détermination du pH**

Il est déterminé à l'aide d'un pH mètre Metrom rapport 1/2,5, basé sur la méthode électrométrique à l'électrode de verre accouplé à une électrode de référence (AUBERT, 1978).

### **V-1-2- Détermination de la conductivité électrique**

La mesure de la conductivité électrique à une T° fixée fournit un moyen rapide d'apprécier la salinité des substrats organiques(GUY,1978). Elle a été déterminée à l'aide d'un conductimètre Metrom, sur un extrait aqueux au rapport 1/5.

### **V-1-3- Matière organique**

Le dosage de la matière organique a été déterminé par la méthode de calcination.

Après avoir pesé les capsules et leurs contenus (échantillons), on les place dans un four à moufle à 600 c° pendant 4 heures. Après refroidissement, on les pèse une deuxième fois, et on fait le calcul suivant :

Matière organique = (poids avec échantillons - poids vides )X 100 (AUBERT,1978)

### **V-1-4- Azote total**

L'azote total a été déterminé par la méthode Kjeldal, après minéralisation des substrats organiques en milieu sulfurique, l'azote assimilable est déterminé par la méthode internationale. Pour l'extraction de l'ammonium et des nitrates, on utilise une solution saline (KCl par exemple) qui, d'une part déplace  $\text{NH}_4^+$  fixé essentiellement sous forme échangeable, et d'autre part fait passer les nitrates à l'état dissout, l'azote ammoniacale et l'azote nitrique sont dosés successivement sur la même prise d'essai (AUBERT,1978).

### **V-1-5- Détermination du rapport C/N**

le rapport C/N a été déterminé à partir du dosage de l'azote total par la méthode Kjeldal, et la détermination du carbone par la méthode Anne.

La matière organique = carbone x2.

### **V-1-6- calcaire total**

Le calcaire total est déterminé par la méthode volumétrique au calcimètre de Bernard sur terre tamisée à 2 mm, on utilise la propriété du carbonate de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide, en eau et en gaz carbonique. Ce dernier est recueilli dans un tube gradué en mm ou en unités inférieures (AUBERT,1978).

## V-2- Analyses physiques

### V-2-1- la granulométrie

La granulométrie a été déterminée par la méthode internationale à la pipette de Robinson. Elle s'effectue sur une prise d'essai de terre fine (éléments inférieurs à 2 mm), elle a pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions de particules minérales constituant les agrégats. Cette méthode consiste à déduire la matière organique par une attaque à l'eau oxygénée et disperser les particules à l'aide de la pipette de Robinson dans les flacons à sédimentation, à des profondeurs et à des moments déterminés (application de la loi de STOKES, loi de sédimentation des particules dans un liquide).

### V-2-2- détermination de la densité apparente

La méthode de mesure de la densité apparente utilisée est la méthode au cylindre. Cette technique consiste à prélever un échantillon du substrat de volume connu dont on déterminera la masse sèche après passage du substrat dans le four à 105 °C et donc la densité apparente ( $D_a$ ) est déterminée par la formule suivante :

$$D_a = \frac{\text{Poids sec (g)}}{V (\text{cm}^3)}$$

### V-2-3- La porosité totale

La porosité totale n'a pas pu être déterminée par la méthode au pycnomètre à eau à cause de problèmes méthodologiques liés à la présence de liège, néanmoins on a utilisé la méthode par saturation à l'eau, qui consiste à mettre les substrats dans des cylindres et les laisser se saturer d'eau pendant 24 heures et calculer ensuite l'humidité pondérale ( $H_p$ ) par la formule suivante :

$$H_p = \frac{\text{Poids saturé} - \text{poids sec}}{\text{Poids saturé}} \times 100$$

Ensuite on calculera la porosité totale ( $P_t$ ) par la formule suivante :

$$P_t (\%) = D_a \times H_p$$

## VI- Analyse statistique

Les données obtenues ont fait l'objet d'une analyse de la variance en utilisant le logiciel « STATITCF », qui consiste à la comparaison des moyennes dès qu'il y a une différence significative entre ces derniers. Le test de Newman et Keuls nous permet de dégager les groupes de moyennes homogènes.

## I- Présentation et analyse des donnés

### 1-1-Propriétés chimiques de la boue:

L'ensemble des analyses a été effectué au niveau de laboratoire de l'université de Jijel.

**Tableau XI : Analyse chimique de la boue**

Eléments	Boues	Normes
pH	6.98	
CE (mmhos/cm) à 25 °C	2.27	
Matière organique (%)	40.4	40 -65 (1)
Calcaire total (%)	12.96	
Calcaire actif (%)	1.75	
Carbone total (%)	20.2	
C E C (meq/100g)	175	
Azote total (%)	0.80	2-2.5 (1)
C/N(%)	25.25	
Fer (ppm)	480	
Zinc (ppm)	454.15	3000(1), 25000(2)
Cuivre (ppm)	42.75	1000(1), 600(2)
Plomb (ppm)	549.5	800 (1), 300(2)
Mercure (ppm)	579.15	10(1), 5(5)
Cadmium (ppm)	141.41	20 (1), 10(2)

(1) Normes d'après Lacée (1985).

(2) Concentrations guides, d'après Couillard 1988 et Barideau (1986).

Les résultats de l'analyse chimique de la boue testée, ont montré que cette dernière est très riche en matière organique avec un taux de 40.4 %. Ceci concorde avec les normes AFNOR cité par LACEE (1985) .Le pH est proche de la neutralité avec une valeur de 6.98. la teneur en calcaire total de la boue est relativement moyenne, elle est de l'ordre de 12.96 %. Selon les normes citées par BAIZE (1988), nous pouvons classer la boue dans la classe modérément calcaire (tableau XII).

**Tableau XII: Normes d'interprétation du calcaire total (BAIZE, 1988)**

Teneur en calcaire total en (%)	Type de sol
Inférieur à 1	Sol non calcaire
De 1- 5	Sol peu calcaire
De 5-25	Sol peu modérément calcaire
De 25-50	Sol fortement calcaire
De 50-80	Sol très fortement calcaire
Supérieur à 80	Sol excessivement calcaire

Pour le calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) actif, la boue présente un taux faible (1.75%) , Cette teneur en calcaire actif est largement inférieur au seuil critique de 6% (DROUINEAU, 1979 in ROULA,2005). Du point de vue salinité, la boue présente une conductivité électrique de 2.27 mmhos/cm. D'après l'échelle de salinité établit par (AUBERT,1978 et GROS,1979), nous constatons que la boue s'installe dans la gamme des boues salées (tableau XIII).

**Tableau XIII: Echelle de salure européenne**

désignation	Non salé	Peu salé	salé	Très salé	Extrêmement salé
CE mmhos/cm	0 à 0.6	0.6 à 1.2	1.2 à 2.4	2.4 à 6	> 6

Concernant la capacité d'échange cationique (C.E.C), la boue testée dans cette expérimentation possède une valeur très élevée de la CEC, elle est de l'ordre de 175meq/100g. FOUCARD (1994), souligne qu'un matériau est chimiquement actif lorsque sa CEC est supérieur à 100 meq/l . ce qui pourra mettre à la disposition des plantes les éléments nutritifs au fur et à mesure des besoins.

Aussi, pour les éléments fertilisants et amendements tel que l'azote, la boue testée présente un taux de 0.80 %. Cette teneur en azote total est inférieure aux normes citées par et JUSTE et al (1980) et LACEE (1985)

De même, pour les éléments traces tels que le cuivre et le zinc présents dans la boue, qui sont indispensables au développement des végétaux et des animaux, peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses. Les résultats de l'analyse, montrent que ces derniers sont largement inférieurs aux normes requises, et ne présentent pas de risque de toxicité. D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels. L'analyse chimique montre que la concentration en cadmium est très élevée dans la boue et dépasse largement la norme citée par LACEE 1985, elle est de l'ordre de 141.41. Pour le plomb, elle se trouve dans les normes préconisées et ne présente pas des risques de toxicité.

### I -2- Propriétés physiques de la boue

Les résultats obtenus de l'analyse physique de la boue sont résumés dans le tableau suivant.

**Tableau XIV : Analyse physique de la boue**

Eléments	Pourcentage (%)
Argile	1.87
Limon grossier	7.76
Limon fin	9.64
Sable grossier	24.96
Sable fin	55.77
Clase texturale	Grossière
Porosité totale	63.5
Densité apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.27

D'après DUCHAUFOR (1989), la granulométrie et la structure conditionnent ensemble les propriétés physiques du sol, elles permettent de définir la porosité et ses différentes formes. De même, BAIZE (2000), rajoute que la granulométrie permet d'apprécier la perméabilité, la rétention en eau, l'aération et la capacité d'échange cationique. Les résultats du tableau XIV, montrent que la proportion des sables est supérieure à 50%. Cette situation permet de créer une porosité assez élevée, elle est de

l'ordre de 63.5 %, ce qui aura une conséquence sur le maintien de l'eau et la circulation de l'air. La texture de la boue est obtenue en rapportant les pourcentages des différentes fractions granulométrie sur le triangle de texture (BRAHIMA, 1966 et DUCHAUFOR, 1988). Le résultat obtenu montre que la boue possède une texture sableuse. De même, la boue utilisée dans notre essai a une densité apparente de l'ordre de 1.27.

### I-3- propriétés physico-chimiques des substrats testés

L'analyse des substrats testés dans cet essai a aboutit aux résultats suivants :

**Tableau XV : Analyse physico-chimique des substrats de culture testés**

Elements	S1	S2	S3	S4	S5	S6
pH	7.25	7.19	7.90	7.26	6.73	6.83
Azote total (%)	0.12	0.75	0.64	0.59	0.42	0.31
Carbone total(%)	3.2	33.9	17.2	8.7	6.5	5.3
Matière organique(%)	6.4	67.8	34.4	17.4	13	10.6
C/N(%)	26.66	45.2	26.87	15.53	15.47	17.09
C E (mmhos/cm)	1.10	0.31	0.05	0.07	1.52	1.27
CEC (meq/l)	112.5	125	75	62.5	87.5	128
Calcaire total (%)	3.25	2.77	1.85	3.70	7.40	6.86
Calcaire actif(%)	1.08	0.92	0.61	1.23	2.46	2.28
Porosité (%)	74.16	71.85	60.70	56.96	53.26	50
Densité apparente	0.60	0.80	1.28	0.90	0.88	1.25

#### I-3-1-pH

La connaissance du pH du substrat de culture est nécessaire, le pH agit sur l'assimilation des éléments nutritifs par le plant. Pour une bonne nutrition minérale, le pH doit être compris entre 5 et 8. Nous remarquons que les pH des différents mélanges sont neutres à légèrement alcalins. En effet, le pH varie de 6.83 à 7.90, respectivement, pour le substrat S6 et le substrat S3. Pour l'ensemble des mélanges, le pH reste toujours dans l'intervalle souhaitable à la culture hors-sol (ARGILLIER et al, 1991), et obéit aux conditions de nutrition minérale et de l'activité biologique.

#### I-3-2-La matière organique

Les substrats S2 et S3 sont les plus riches en matière organique. De manière générale, on constate que le taux de la matière organique augmente avec l'addition de la boue dans les traitements. De même, la proportion du carbone varie directement en fonction de l'apport de la boue, sachant que cet élément constitue une source d'énergie aux micro-organismes du sol, on peut déduire donc qu'il y a une bonne activité microbienne.

#### I-3-3-Conductivité électrique

La quantification de ce paramètre nous renseigne sur la salinité totale et le potentiel nutritif du substrat. Les résultats de la conductivité électrique, montrent que les substrats S2, S3 et S4 ont un CE

compris entre 0.05 et 0.31mmhos/cm, et ne présentent pas des risques de salinité. Tandisque, les substrats S5 et S6 sont considérés comme des substrats salés. Pour le substrat témoin (S1), il est peu salé.

### I-3-4-Porosité totale

Le substrat S1 et le substrat S2 ont une porosité élevée, ceci concorde avec les normes exigées par LEMAIRE et al (1989), qui ont signalé qu'un bon substrat de culture doit présenter une forte porosité totale ( $> 70\%$ ) en volume, tout en conservant une bonne tenue mécanique pour la stabilité du plant. En revanche, les autres substrats ont une porosité inférieure aux normes préconisés.

### I-3-5-Azote

L'azote est nécessaire pour la vie d'une plante, surtout pour l'élaboration des composés organiques, tel que les acides aminés, les acides nucléiques, les pigments chlorophylliens, certains enzymes et des alcaloïdes (LANIER et al, 1976 in TEMAGOULT 2005). La teneur en azote varie de 0.12 à 0.75 %, respectivement, pour le témoin et le substrat contenant 50% de boue. De plus, on constate que la concentration de l'azote varie en fonction de l'apport de la boue.

### I-3-6-Le Rapport C/N

Ce rapport sert à caractériser la résistance des matériaux organiques à la dégradation micro biologique et détermine approximativement la capacité minéralisatrice annuelle. En effet, plus le C/N est faible plus l'activité biologique est forte, par conséquent, la matière organique se décompose rapidement et ne convient pas pour les cultures hors-sol. Donc, un rapport C/N élevé serait préférable, car la décomposition de la matière organique est lente et perturbera moins le milieu physique. D'après les résultats obtenus, le rapport C/N varie de 15.53 à 45.2 %, respectivement, pour le substrat S4 et le Substrat S2. De plus, on remarque que ce rapport varie en fonction de l'apport de boue .

### I-3-7-Capacité d'échange cationique

La CEC est liée aux taux de carbone et dépend aussi de son pH. D'après les résultats obtenus, la CEC de différents mélanges varie entre 62.5meq/100g pour le substrat S4 et 128 meq/100g pour le substrat S6. D'une manière générale, l'ensemble des substrats a une CEC satisfaisante.

### I-4- Taux de levée

On parle de la levée dès qu'il y a apparition d'une plantule de pin maritime. Dans notre essai, le comptage du nombre de plantules levées a débuté à partir du 4<sup>ème</sup> semaine après le semis, et s'est étalé du 18/03/2006 au 12/04/2006 .

**Tableau XVI: Taux de levée par substrat de culture**

Substrats	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Taux de levée (%)	95.41	92.50	92.50	92.50	95.83	92.50

A partir du tableau XVI et la figure 3, on constate que le taux de levée est important dans tous les substrats en particulier les substrats S5 et S1 avec un taux respectif de 95.83% et 95.41(%), suivi du substrat S2, S3, S4, S6 avec le même taux de 92.50%. Ces résultats ne montrent aucune supériorité entre les différents substrats, la moyenne est autour de 93.5 %. Cette appréciation est confirmée par l'analyse statistique de la variance à un seul facteur (Annexe10), qui ne révèlent aucune différence significative entre les différents mélanges.

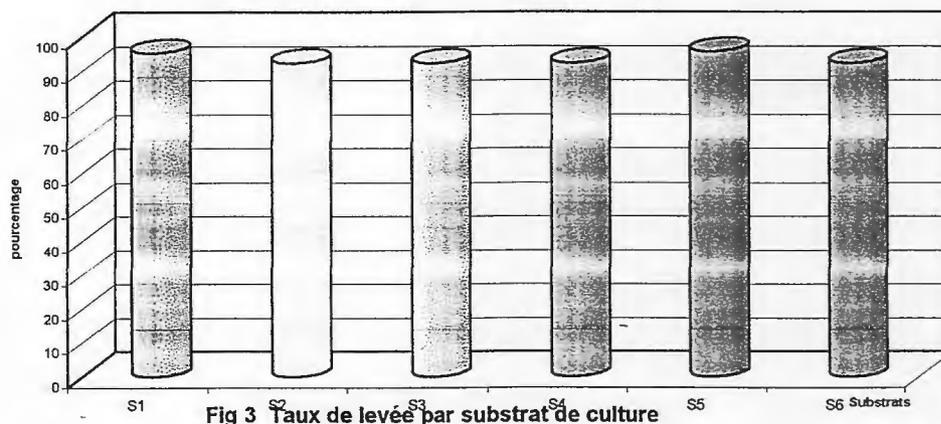


Fig 3 Taux de levée par substrat de culture

**I-5-Taux de survie**

Exprimé par le nombre de plant restant en vie, en fin de campagne, par rapport au nombre de graines ayant levées, plus les plants prélevés pour le calcul de la biomasse sur chaque mélange. Les résultats obtenus indiquent un taux de survie très satisfaisant pour l'ensemble des mélanges, il varie de 93 à 100 %, En moyenne, il est de 97.5 %, et supérieur à 80 %, ce qui nous permet de considérer que ce taux est économiquement rentable.

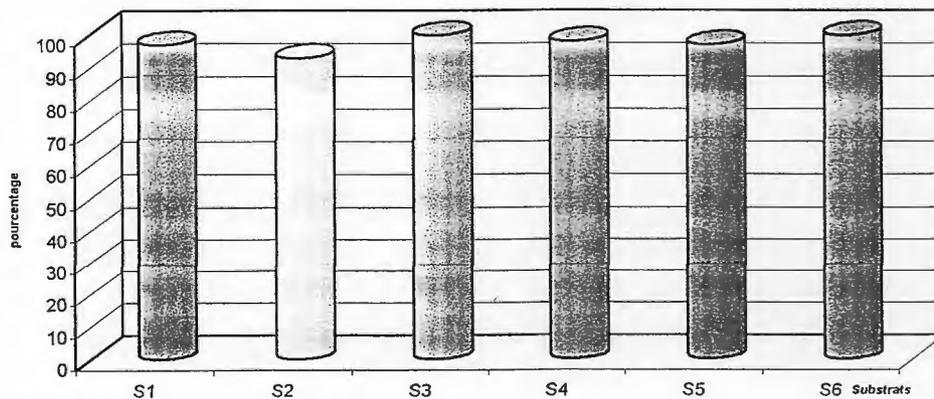


Fig 4: Taux de survie par substrat de culture

**I-6- Influence du substrat sur les caractéristiques dimensionnelles des plants****I-6-1- Croissance en hauteur****a) Première mesure (trois mois après le semis)****Tableau : XVII Analyse de la variance**

Test de Newman et keuls seuil 5%

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	7.31	17	0.43			
Var. fact	15.75	5	1.05	8.43	2.85	HS
Var. blocs	0.84	2	0.42	3.34	4.10	NS
Var. résidu.	1.2	10	0.12			

Subs	Moy (cm)	Groupes/homog
S2	5.74	A
S3	5.61	A
S4	5.46	A
S5	5.02	AB
S6	4.41	B
S1	4.41	B

L'analyse de la variance a montré pour ce paramètre, une différence hautement significative entre les substrats. puisque le *F*. observé est largement supérieur au *F*. théorique.

Le test de Newman et keuls à 5% permet de dégager trois groupes homogènes, le premier groupe est représenté par les substrats S2, S3 et S4 avec une moyenne de croissance respectivement de 5.74, 5.61 et 5.46cm, quant au deuxième groupe, il est représenté par le substrat S5, avec une moyenne de 5.02 cm, suivi en dernière position par les substrats S6 et S1 qui enregistrent des faibles moyennes (4.41 cm).

**b) Deuxième mesure (quatre mois après le semis)****Tableau XVIII: Analyse de la variance**

Test de Newman et Keuls seuil 5 %

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	27.71	17	1.63			
Var. fact	25.9	5	5.18	49.85	2.85	THS
Var. blocs	0.7	2	0.35	3.35	4.10	
Var. résidu.	1.0	10	0.10			

Subs	Moy (cm)	Groupes/homog
S3	8.13	A
S2	7.47	B
S4	6.89	BC
S5	6.55	C
S6	5.21	D
S1	4.70	D

A la deuxième mesure, se forment cinq (05) groupes homogènes, le premier groupe est constitué uniquement par le substrat S3, avec une moyenne de 8.13 cm, le deuxième groupe est représenté par le substrat S2 avec une moyenne de 7.47 cm, quant à la troisième et la quatrième place, on trouve les substrats S4 et S5, avec des moyennes respectivement de 6.89 et 6.55 cm. Le dernier groupe est représenté par les substrats S6 et S1, avec des faibles hauteurs. Il faut noter que la différence entre le substrat S3, qui occupe la première position, et le substrat S1 (témoin) est très important, elle est de l'ordre de 3.43cm.

## c) Troisième mesure (cinq mois après le semis)

Tableau XIX: Analyse de la variance

Source de var	SCE	D.D.I	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	51.68	17	3.04			THS
Var. fact	45.25	5	9.05	16.94	2.85	
Var. blocs	1.16	2	0.58	1.09	4.10	
Var. résidu.	5.3	10	0.53			

Test de Newman et keuls seuil 5%

subs	Moy (cm)	Groupes/homog
S3	10.94	A
S2	10.14	A
S4	9.58	A
S5	9.13	A
S6	7.02	B
S1	6.59	B

A la troisième mensuration, l'analyse statistique a mis en évidence une différence significative entre les différents traitements. Le test de Newman et keuls au seuil de 5 % permet de classer les six traitements en deux groupes homogènes, avec le même classement des substrats de la précédente mesure. Le substrat S3 se singularise en effet des autres traitements, avec une moyenne de 10.94 cm, suivi par les substrats S2 et S4. En dernière position, on trouve les mêmes substrats à savoir S6 et S1, qui enregistrent les plus faibles hauteurs.

## d) Quatrième mesure (six mois après le semis)

Tableau XX: Analyse de la variance

Source de var	SCE	D.D.I	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	99.11	17	5.83			THS
Var. fact	87.3	5	17.46	16.87	2.85	
Var. blocs	1.4	2	0.70	0.67	4.10	
Var. résidu.	10.3	10	1.03			

Test de Newman et keuls seuil 5%

subs	Moy (cm)	Groupes/homog
S3	13.78	A
S2	13.13	A
S4	12.70	A
S5	12.67	A
S6	9.73	B
S1	7.58	C

Après six mois d'élevage, les résultats obtenus vont dans le même sens que la précédente mesure. L'analyse statistique a permis de déterminer 3 groupes homogènes. Le premier groupe représente les substrats S3, S2, S4 et S5 avec une hauteur moyenne respectivement de 13.78, 13.13, 12.70 et 12.70 cm. Le deuxième groupe correspond au substrat S6 avec une moyenne de 9.73 cm. le dernier groupe représente toujours le substrat témoin (S1). La première constatation que nous pouvons retenir après cette période d'élevage, est que le mélange S3 dont la proportion des boues est de 40 %, a donné le taux de croissance le plus élevé, en comparaison avec les autres traitements. Le rythme de croissance pour ce traitement, atteint 2.83 cm /30 jours.

La figure 5, illustre bien l'évolution de la croissance en hauteur des plants de pin maritime, durant 6 mois d'élevage en pépinière hors-sol. L'observation des courbes de croissance, montre en générale une allure sensiblement identique pour l'ensemble des substrats testés avec de légères

différences. Les substrats S3, S2, S4 et S5 se singularisent et suivent une évolution parallèle par rapport aux autres substrats.

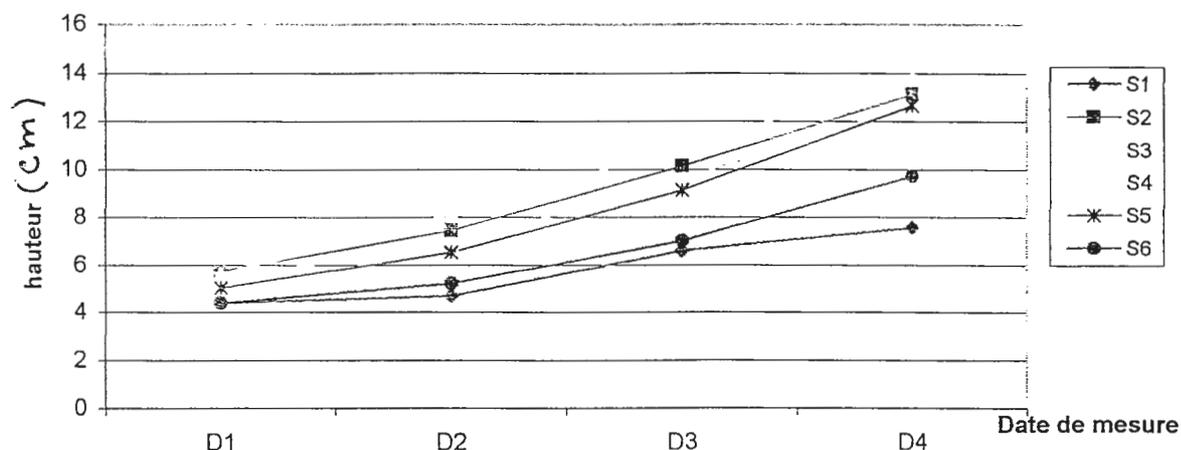


Fig 5 : Evolution de la croissance en hauteur des plants en fonction des substrats de culture

De même les courbes de croissance, prennent la forme d'une ligne droite, ce qui montre un accroissement régulier, continu et assez moyen pour l'ensemble des mélanges testés. Enfin, on note une importante différence, de la croissance en hauteur des plants entre le premier substrat (S3), et le dernier (S1), de l'ordre de 6.2 cm.

### I-6-2-Croissance en diamètre

#### a) Première mesure (trois mois après le semis)

Tableau XXI: Analyse de la variance

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	0.17	17	0.01			
Var. fact	0.05	5	0.01	1.72	2.85	NS
Var. blocs	0.04	2	0.02	4.66	4.10	S
Var. résidu.	10	10	0.00			

subs	Moy (mm)
S1	1.38
S2	1.23
S3	1.30
S4	1.27
S5	1.29
S6	1.28

L'analyse de la variance a montré pour ce paramètre, une différence non significative entre les substrats, puisque le F. observé est inférieur au F. théorique. Le diamètre moyen varie de 1.23 à 1.38 mm .

**b) Deuxième mesure (quatre mois après le semis)**

**Tableau XXII: Analyse de la variance**

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	0.34	17	0.02			
Var. fact	0.05	5	0.01	1.14	2.85	NS
Var. blocs	0.1	2	0.05	4.29	4.10	S
Var. résidu.	0.1	10	0.01			

Subs	Moy (mm)
S1	1.51
S2	1.61
S3	1.69
S4	1.64
S5	1.62
S6	1.53

L'analyse statistique de ce paramètre après quatre mois de séjour en pépinière, a présenté des résultats similaires et statistiquement non significatifs. Le diamètre moyenne varie de 1.51 à 1.69 mm.

**c) Troisième mesure (5 mois après le semis)**

**Tableau XXIII: Analyse de la variance**

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	0.68	17	0.04			
Var. fact	0.65	5	0.13	18.95	2.85	THS
Var. blocs	0.02	2	0.01	1.94	4.10	
Var. résidu.	0.1	10	0.01			

**Test de Newman et keuls seuil 5%**

Subs	Moy (mm)	Groupes/homog
S3	2.04	A
S2	2.01	A
S4	1.91	A
S5	1.88	A
S6	1.59	B
S1	1.55	B

A la troisième mesure, l'analyse de la variance nous montre que la source de la variance est significative. Les résultats obtenus pour ce paramètre vont dans le même sens que le paramètre hauteur. Le test de Newman et keuls a permis de dégager deux groupes homogènes, le premier groupe est représenté par les substrats S3, S2, S4 et S5 avec des moyennes respectives de 2.04, 2.01, 1.91 et 1.88mm. Quant au deuxième groupe, il est représenté par les autres substrats.

**d) Quatrième mesure (6 mois après le semis)**

**Tableau XXIV: Analyse de la variance**

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	2.38	17	0.14			
Var. fact	1.85	5	0.37	11.23	2.85	THS
Var. blocs	0.14	2	0.07	2.24	4.10	
Var. résidu.	0.3	10	0.03			

**Test de Newman et keuls seuil 5%**

Subs	Moy (mm)	Groupes/homog
S3	2.64	A
S4	2.62	A
S2	2.51	A
S5	2.45	A
S6	2.04	B
S1	1.77	B

A la quatrième mesure, l'analyse de la variance nous montre que la source de la variance est significative. Les résultats obtenus pour ce paramètre vont dans le même sens que le paramètre hauteur.

Le test de Newman et keuls a permis de dégager deux groupes homogènes, le premier groupe est représenté par les substrats S3, S2, S4 et S5 avec des moyennes respectives de 2.04, 2.01, 1.91 et 1.88mm. Quant au deuxième groupe, il est représenté par les autres substrats.

La figure 6, montre que les courbes de croissance en diamètres pour les différents mélanges suivent la même allure que celle de la croissance en hauteurs. Cependant nous remarquons sur les courbes de croissance pour les substrats S6 et S1 un ralentissement de croissance entre la deuxième mensuration et la troisième mensuration. Il faut noter aussi que les meilleures croissances en diamètre, correspondent aux meilleures croissances en hauteur des plants.

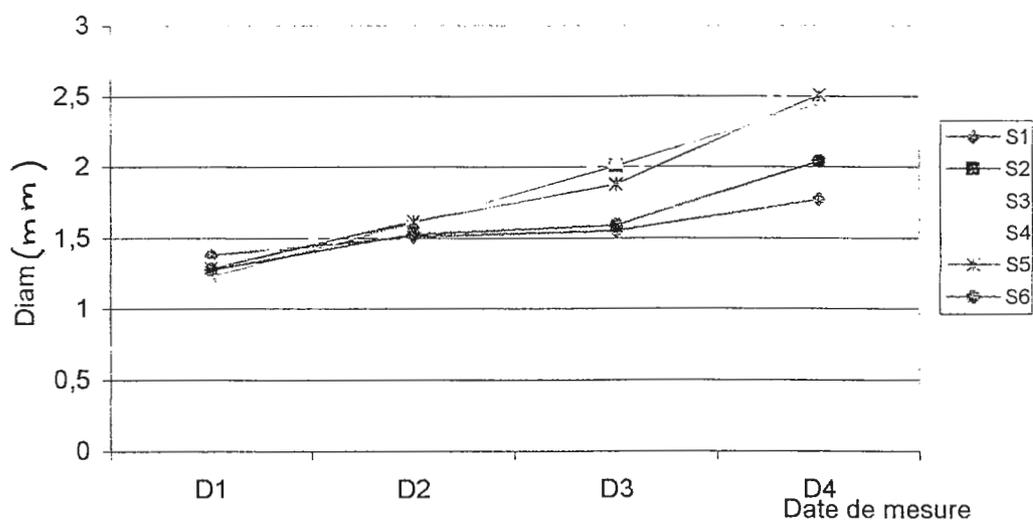


Fig 6: Evolution de la croissance en diamètre en fonction des substrats de culture

### I-6-3 Rapport de la hauteur de la partie aérienne et le diamètre au collet

Tableau XXV: Analyse de la variance

Source de var	SCE	D.D.I	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var. totale		17	0.18			
Var. fact		5	0.34	2.58	2.85	NS
Var. blocs		2	0.01	0.08	4.10	
Var. résidu.		10	0.13			

subs	H/D
S1	4.42
S2	5.35
S3	5.23
S4	4.87
S5	5.05
S6	4.67

L'analyse de la variance n'a pas décelé une différence significative entre les différents substrats. Les résultats obtenus sont statistiquement identiques. Les meilleurs rapports sont obtenus par les substrats S2, S3 et S5. Les faibles valeurs sont enregistrées par les substrats S1 et S6.

**I-7-Action des substrats sur les caractéristiques pondérales des plants****I-7-1-Poids frais de la partie aérienne****Tableau XXVI: Analyse de la variance****Test de Newman et keuls seuil 5%**

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	60.86	17	3.58			THS
Var. fact	47	5	9.40	9.02	2.85	
Var. blocs	3.38	2	1.69	1.62	4.10	
Var. résidu.	10.4	10	1.04			

subs	Moy (g)	Groupes/homog
S3	6.31	A
S2	4.44	AB
S5	4.43	AB
S6	2.81	BC
S4	2.79	BC
S1	1.22	C

Les résultats de l'analyse de la variance révèlent une différence hautement significative. La moyenne varie de 1.22 à 6.31g. Le test de Newman et keuls permet de dégager quatre groupes homogènes. Le substrat S3 se singularise en effet des autres traitements avec une valeur de 6.31g. Quant au substrat S1, il se classe en dernière position, avec une production faible (1.22g).

**I-7-2-Poids sec de la partie aérienne****Tableau XXVII: Analyse de la variance****Test de Newman et keuls seuil 5%**

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	35.02	17	2.06			THS
Var. fact	22.95	5	4.59	3.84	2.85	
Var. blocs	0.14	2	0.07	0.06	4.10	
Var. résidu.	11.9	10	1.19			

subs	Moy (g)	Groupes/homog
S3	4.39	A
S2	2.87	AB
S5	2.34	AB
S6	1.81	AB
S4	1.53	AB
S1	0.85	B

De même, les résultats de la matière sèche de la partie aérienne vont dans le même sens que la biomasse fraîche, avec des différences significatives entre les différents substrats. La biomasse la plus importante est obtenue sur le substrat S3, avec une moyenne de 4.39 g. Elle dépasse cinq fois celle obtenu par le substrat de référence (0.85 g). De plus, on constate une relation directe, entre les caractéristiques dimensionnelles et la production de biomasse (voir fig. 6).

**I-7-3-Poids frais de la partie racinaire****Tableau XX VIII: Analyse de la variance**

Source de var	SCE	D.D.1	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	75.99	17	4.47			NS
Var. fact	28.7	5	5.74	1.65	2.85	
Var. blocs	12.32	2	6.16	1.77	4.10	
Var. résidu.	34.9	10	3.49			

subs	Moy (g)
S1	1.48
S2	4.86
S3	4.35
S4	2.29
S5	2.92
S6	1.77

L'analyse de la variance ne révèle aucune différence significative pour ce paramètre. Les résultats obtenus sont sensiblement identiques. La moyenne varie de 1.48 à 4.86 g. Les substrats S2 et S3 donnent les meilleurs résultats avec des valeurs respectives de 4.86 et 4.35 g.

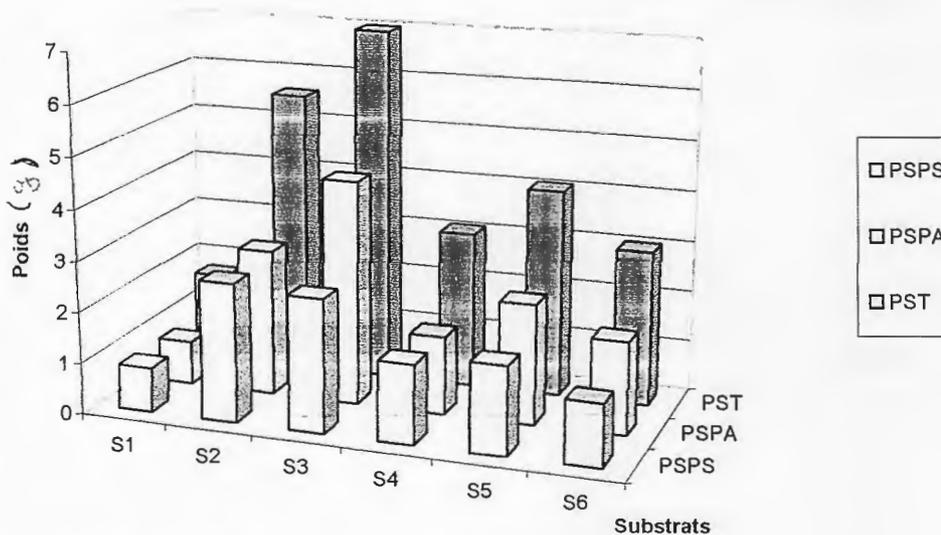
**I-7-4-Poids sec de la partie racinaire**

**Tableau XXIX: Analyse de la variance**

Source de var	SCE	D.D.I	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	20.57	17	1.21			
Var. fact	8.15	5	1.63	1.97	2.85	NS
Var. blocs	4.16	2	2.08	2.50	4.10	
Var. résidu.	8.3	10	0.83			

subs	Moy (g)
S1	0.87
S2	2.71
S3	2.60
S4	1.55
S5	1.73
S6	1.23

De plus, on constate la même tendance que le paramètre précédent, où les substrats S2 et S3 fournissent les meilleures biomasses racinaires, avec les valeurs respectives de 2.71 et 2.60g. Il faut noter, que ces résultats concordent bien avec celles des hauteurs et des diamètres.



**Fig7: mesure de la biomasse par substrat de culture**

I-8-Aspects qualitatifs : Les résultats des observations font apparaître trois groupes de substrats bien distincts ( tableau n° XXX).

**Tableau XXX : Caractéristiques qualitatifs des plants de pin maritime**

Paramètre/subst	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Vigueur du plant	0	2	2	2	2	1
Etat sanitaire	1	0	1	1	2	2
Colonisation motte	0	1	1	2	2	2
Développement racinaire	0	1	2	2	2	2

(0) Faible, Chétif, Mauvais (1) Moyen (2) T. Bon ou Bon

Les substrats S2, S3 et S4, regroupent des plants vigoureux, qui présentent un développement aérien très important. Du point de vue état sanitaire, ces plants présentent des jaunissements, ce dernier augmente avec la teneur des substrats en boue. De plus, les observations réalisées montrent que ces plants présentent une colonisation de la motte assez moyenne (Photo 3,4 et 5).

Les plants élevés sur le substrat S5 (20% boue), présentent un développement aérien important avec un bon état sanitaire ( pas de signe de jaunissement) et une bonne colonisation de la motte (Photo 6).

Quant au reste il ne présente aucun intérêt économique, vu leurs caractéristiques dépréciatives (voir. Photo 2et 7)

Pour le système racinaire, la majorité des plants développent un chevelu racinaire dense avec des coiffes blanches , à l'exception , des substrats S6 et le témoin S1 qui présentent un système racinaire mal développé, avec un pivot très fin, des racines secondaires courtes et peu abondante (photo-de 8 à 13).



Photo 2 : plants de pin maritime élevés sur le Substrat témoin (S1), montrant un faible croissance



Photo 3 : lots de plants élevés sur le substrat S6 composé de 10 % de boue, montrant l'hétérogénéité des plants et un faible croissance



Photo 4 : plants de pin maritime élevés sur le Substrat S3, composé de 40% de boue



Photo 5 : plants élevés sur le substrat S2 (50% de boue),



Photo 6 : plants de pin maritime élevés substrat S4, composé de 30 % de boue



Photo 7 : plants de pin maritime élevés sur sur le le substrat S5 composé de 20 % de boue, indemne de tout signe de jaunissement

NB :les plants élevés sur les substrats S2, S3 etS4, montrant un jaunissement progressif en fonction de la proportion de boues.

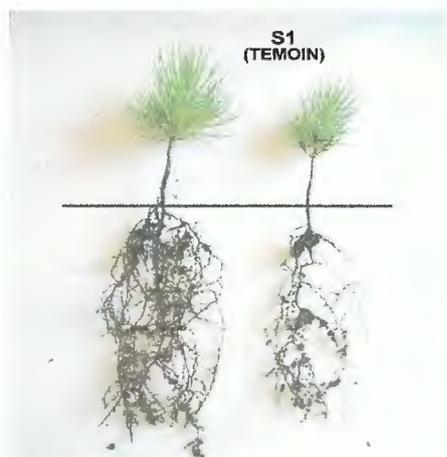


Photo 8 : plants élevés sur le substrat témoin



Photo 9 : plants élevés sur le substrat S2



Photo 10 : plants élevés sur Le Substrat S3



Photo 11 : plants élevés sur le substrat S4



Photo 12 : plants élevés sur le substrat S5



Photo 13 : plants élevés sur le substrat S6

## II - Discussions

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration. Dans notre expérimentation, la boue résiduaire testée issue de la station d'épuration des effluents urbains de la ville de Sétif, représente avant tout une matière première composée de différents éléments :

Pour la matière organique, la boue testée est très riche en matière organique, avec un taux de 40.4 %. Ce qui concorde avec les normes d'AFNOR citées par LACEE (1985) et FRANZ (2002). Cette richesse nous semble importante dans la confection des substrats de culture pour produire des plants forestiers.

Pour les éléments fertilisants essentiels et amendements (N, P, K), l'analyse chimique de la boue montre que la boue testée présente une teneur de 0.80 % de l'azote total, cette valeur est assez inférieure aux normes préconisées dans le domaine. Pour les autres éléments et en se basant sur les travaux antérieurs de ROULA (2005) sur la même boue, qui a montré que la concentration du phosphore total et du potassium se situe autour des normes requises citées par LACEE (1985). Cette teneur en ces éléments constitue un amendement organique. D'après GRENIER (1989), les boues résiduaires sont des fertilisants organiques et libèrent leur éléments nutritifs (N,P,K) lentement.

Concernant les éléments traces métalliques ou bien les contaminants chimiques tels que le cuivre et le zinc, les résultats obtenus montrent que la concentration de ces éléments est largement inférieure aux normes d'AFNOR citées par LACEE (1985) et ANDRED 1988. Certains auteurs précisent que, les éléments traces métalliques sont indispensables au développement des végétaux et des animaux et peuvent se révéler toxiques à trop fortes doses (CHANG et al., 1992 ; CRIPPS et al., 1992). D'autres, tels que le cadmium et plomb sont des toxiques potentiels (ALLOWAY, 1995; MCBRIDE, 2003).

La concentration de cadmium dans notre boue est révélée toxique, elle est de l'ordre de 141.41 en ppm, cette valeur est largement supérieure aux normes tolérables. La teneur de la boue en plomb utilisé dans notre expérimentation s'est située autour des normes et ne présente pas des risques de contamination ou de toxicité pour leur utilisation.

De même, la concentration de mercure dans la boue s'est révélée aussi très élevée par rapport aux normes citées par les mêmes auteurs. Cette forte concentration en métaux lourds nous semble expliquer par le type de traitement des boues. GRENIER (1989), montre que le point le plus important dans le traitement des boues est la stabilisation avant de servir en valorisation, afin de diminuer le nombre des organismes pathogènes présents dans la boue, et les

concentrations élevées en éléments chimiques qui risquent de provoquer des phénomènes de toxicité vis à vis des végétaux.

La comparaison des caractéristiques physico-chimiques des mélanges testés montre, un pH avoisinant de la neutralité à légèrement alcalins pour l'ensemble des substrats, compris entre 6.83 et 7.90 et augmente avec l'addition de la boue dans les traitements. Ces valeurs restent toujours dans l'intervalle souhaitable pour les cultures hors-sol entre 5 et 8. Ce qui permet à une bonne nutrition minérale et une bonne activité biologique. En dehors de ces limites, le plant sera confronté à des problèmes de nutrition minérale et développement d'agents pathogènes (FALCONNET et al 1992).

En ce qui concerne la conductivité électrique (CE, exprimé en mmhos/cm), qui nous renseigne sur la salinité du substrat et son potentiel nutritif. D'après FOUCARD (1994), un excès de salinité vite atteint en hors- sol peut provoquer des brûlures des racines chez les plantes sensibles a une session osmotique élevée. Selon l'échelle de salinité établit par (GROS,1979 et AUBERT ,1978) , on constate que les substrats S5 et S6 sont les mieux pourvus en éléments nutritifs , leur CE est de l'ordre respectivement de 1.52 et 1.27mmhos/cm , ce qui présentent des risques de salinité . Par contre, le substrat témoin (S1) possède un pouvoir satisfaisant et moins de risque de salinité par rapport aux précédents substrats.

La teneur de la matière organique dans les substrats, est varié en fonction de l'apport de la boue, on constate que les meilleurs taux sont enregistrés au niveau des substrats S2 et S3.

Du point de vue porosité totale, on observe deux substrats répondant à la norme requise (S1 et S2), les autres sont à corriger. Notant que la détermination de la porosité totale par la méthode du cylindre a connu des difficultés de manipulation, théoriquement on devrait avoir obtenir une forte porosité totale. ARGILIER et al 1990, montrent qu'un bon substrat doit présenter une forte porosité (> 70%), pour assurer une aération, un espace pour un bon développement racinaire et limite la tendance aux enroulements.

Le rapport C/N varie de 15.53 à 45.2 %,respectivement, pour les substrats S4 et S2. De plus, on remarque que ce rapport augmente en fonction de l'addition des boues. LEMAIRE et al (1989), montrent que ce rapport sert à caractériser la résistance à la dégradation microbienne des différents types de matière organique. Les valeurs les plus faibles sont obtenues par les substrats S4 et S5, respectivement,15,53 et 15.47. De manière générale, on peut dire que l'ensemble des substrats possède des valeurs supérieures à 15 , indiquant une évolution assez lente de la matière organique au cours du cycle d'élevage des plants par minéralisation et perturbera moins le milieu physique tel que les tassements des substrats.

Les taux de levée obtenus dans cet essai, ont montré que les pourcentages de levée des semis de pin maritime dans les différents substrats sont très satisfaisants et statistiquement sont identiques, ils varient de 92.50 à 95.83 %. L'excellente levée indique que l'apport des boues résiduelles n'entrave pas la levée des plants de pin maritime. Ceci laisse suggérer que l'utilisation des boues résiduelles comme composante dans le substrat de culture pour la production de pin maritime, puisse être envisagée.

Le taux de survie obtenu pour l'ensemble des mélanges est très satisfaisant, atteignant son maximum de 100 % pour les substrats S3 et S6. En moyenne, il se situe autour de 97.5% pour l'ensemble des substrats, en générale on peut dire que ce taux est économiquement très rentable.

En ce qui concerne les caractéristiques dimensionnelles des plants, les résultats obtenus pour la croissance en hauteur font apparaître un effet statistiquement significatif du type de mélange sur la croissance en hauteur des plants de pin maritime. Quatre substrats, présentant des performances morphologiques remarquables (S3 avec 13.78 cm, S2 avec 13.13 cm, S4 avec 12.70 et S5 avec 12.67cm). En revanche, les substrats (S1 et S6), ont fourni des plants ayant des hauteurs les plus faibles. Ils mesurent respectivement 7.58 et 9.53 cm.

Ces différences des hauteurs obtenues, dépendent essentiellement des proportions des apports des boues. De manière générale, l'apport de boues agit favorablement sur la stimulation de la croissance des plants de pin maritime, plus l'apport augmente, la croissance est meilleure.

De même, l'analyse statistique des mesures biométriques sur la croissance du diamètre au collet des plants échantillonnés a fait ressortir deux groupes homogènes. Le classement par ordre décroissant des diamètres, est identique à celui des hauteurs des plants. Il est de même que pour la croissance en hauteur, les meilleures moyennes sont observées dans les substrats S3, S2, S4 et S5 qui présentent des croissances en diamètre allant de 2.45 à 2.64 mm.

Pour le rapport hauteur / diamètre, qui nous renseigne sur l'équilibre de croissance en hauteur par rapport à la croissance en diamètre. L'ensemble des mélanges présente un rapport inférieur à 7, ce qui concorde avec la norme citée par LAMHAMD et al (2000). Le respect de cet équilibre donne l'assurance d'un plant vigoureux et suffisamment stable (CORNINE et al.1988), le meilleur rapport est obtenu par les substrats S2, S3 et S5

Du point de vue critères pondéraux des plants, nous avons pris en compte, seulement la production de la biomasse. Les données recueillies au cours de cet essai, confirment l'existence d'une relation étroite entre la production de la biomasse et les caractéristiques dimensionnelles des plants. De plus on constate, que la production de la biomasse varie en fonction de l'apport

des boues. Pour la biomasse aérienne, on observe également les mêmes résultats, le substrat S3 composé de 40% de boues forme un groupe homogène, avec une meilleure production de biomasse, suivi par les substrats S2 et S5. Enfin, pour le paramètre biomasse racinaire les résultats obtenus sont différents mais non significatifs, et vont dans le même sens que ceux précédemment décrits, où les substrats S3, S2 et S5 fournissent la meilleure masse racinaire.

En ce qui concerne le paramètre qualitatif, les observations montrent la présence des jaunissements sur les plants S2, S3 et S4. Ce jaunissement augmente avec la teneur du substrat en boue. En effet, les plants du substrat S2 (50 % de boue) présentent un jaunissement général et qui diminue progressivement au niveau du substrat S3 (40% de boue) et S4 (30% de boue), ce qui exclut de ces qualités loyales. Par contre les plants du substrat S5 (20% de boue), S6 (10% de boue) et le témoin (S1) sont indemnes de tout signe de jaunissement.

En effet, ce jaunissement a été observé après quatre mois de semis. Ceci peut être expliqué par des signes de toxicité dus à une forte teneur en quelques métaux contenus dans la boue ou par un excès ou carence de certains éléments nutritifs, et en particulier les oligo-éléments, qui peuvent se manifester par des phénomènes de toxicité ou de carence des végétaux (FOUCARD, 1994).

Pour la qualité du système racinaire, nous avons constaté, dans les traitements contenant plus de boue, un bon développement du système racinaire en raison du taux d'aération des racines (porosité > 60%). Nos résultats ne concordent pas avec ceux de POLAN et al (1993), qui ont montré que la forte densité du compost affecte inévitablement le développement du système racinaire.

En somme toute, nous pouvons dire que parmi les substrats testés, le Substrat S5 (20 % de boue) nous semble le préférable ; les plants élevés sur ce substrat ont des performances dimensionnelles et pondérales acceptables, sains et indemnes de tous signes ou symptômes de maladies (jaunissement), pouvant déprécier sa qualité. De même, nos résultats se concordent bien avec ceux de POLAN et al (1993), qui ont montré que l'utilisation d'une proportion de 20 % de compost de boue dans le substrat de culture est meilleure pour la production de pin gris.

## Conclusion générale

Cet essai a permis de constater que l'utilisation de boues résiduaire issue de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Sétif, comme composante dans les substrats de culture pour la production de plants de pin maritime, peut être envisagée à condition de diminuer la concentration de certains éléments traces, qui constituent un risque ou contrainte pour leur valorisation en agriculture. Ces boues doivent être compostées avant toute utilisation afin de s'assurer du devenir des éléments traces.

La comparaison de certaines caractéristiques physico-chimiques de l'ensemble des mélanges par rapport aux normes requises ont permis de conclure que les substrats testés ont des propriétés chimiques acceptables sauf pour le cas du mélange S5 et S6 qui présente un risque de salinité ; du point de vu porosité totale, seuls deux mélanges répondent à la norme ; le substrat de référence (S1) et le substrat S2. De même l'apport des boues favorise progressivement un enrichissement du substrat en matière organique.

L'analyse des paramètres bio-métriques à savoir la hauteur de la tige, le diamètre au collet, la biomasse et l'aspect qualitatif des plants en particulier l'état sanitaire, nous a permis de retenir le mélange composé de 20% de boue pour ses performances biométriques et son état sanitaire.

En fin, à travers les résultats obtenus, nous pouvons dire que:

- Un effet globalement positif des boues résiduaire sur la croissance des plants de pin maritime, avec des différences significatives.
- L'utilisation directe des boues à des doses supérieures à 20% comme dans notre cas, présente des risques et des contraintes liées à leur emploi, en raison de la présence des éléments traces qui entravent l'état sanitaire des plants.
- L'utilisation des boues constitue un gisement important et son exploitation constitue une approche très prometteuse dans la filière de production de plants.
- La technique d'élevage hors -sol a permis l'amélioration de la qualité des plants, et par conséquent leur croissance et leur taux de survie.

Les suggestions que nous pouvons émettre à partir de cet essai sont :

- Approfondir l'étude à d'autres critères physiologiques plus fiables que les critères morphologiques et visuels, pour évaluer la qualité des plants. Elle doit être complétée d'avantage par la mesure de la capacité photosynthétique des plants, le dosage des éléments chimiques dans les tissus des plants notamment les feuilles, l'analyse du taux de sucre dans les racines et un diagnostic adéquat de l'état mycorhizien et du potentiel de régénération racinaire (abondance des pointes blanches dans les racines).
- Suivre l'évolution des propriétés physico-chimiques des substrats en cours et en fin du cycle d'élevage pour déterminer les éléments influant la croissance des plants et parmi lesquels ceux ou celui qui sont responsables du jaunissement du plant observé.
- Confirmer les résultats obtenus en pépinière par une plantation comparative sur le terrain

# **Bibliographie**

## BIBLIOGRAPHIE

**ALLOWAY, A., 1995:** Heavy metals in soils. Edition blackie academic&professional, 368 p.  
**Almendros, G., Guadalix M.E., Gonzalez-Vila F.J., Martin F., 1996.** Preservation of aliphatic macromolecules in soil humins. *Org. Geochem.* 24, 6/7, 651-659.

**AMIRA S., 2005 :** contribution à la valorisation des boues de stations d'épuration par compostage : Devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost. Thèse. Doctorat. Institut national de polytechnique. Sciences agronomiques. Toulouse. 341p.

**ANDRED., 1988 :** la valorisation agricole des boues de la station d'épuration urbaine. Cahier technique. Pp 23-117 .

**ANONYME., 1987 :** Le pin maritime *Pinus pinaster Ait.* Ed. Cemagref de grenoble. 4p

**ANONYME., 1990 :** Régénération du pin maritime. Semis ou plantation ? Ed. AFOCEL n°116 . pp 2-109.

**ANONYME., 1995 :** Notes sur les ressources phylogénétiques forestières Algérienne . Ed. INRF, Alger , 21p.

**ARBEZ M., 1987 :** les ressources génétiques forestières en France. Tome 1 : les conifères .Ed. INRA et BRG ; Paris ; pp 151-158.

**ARGILLIER. C. ; FALCONNET. G. ; GRUEZ. J. (1990).** : Production de plants forestiers : Guide technique du forestier méditerranéen Français. CEMAGREF ; Aix en Provence, 32p.

**ARGILLIER C., FALCONNET G. ET GRUEZ J., 1991 -** Production de plants forestiers. Guide technique du Forestier Méditerranéen Français. Cemagref (Aix-en-Provence). Chap. 6, fiches 9.

**ARGILIER C., et RAYMOND., 1994:** Fertilisation des pins laricio (*Pinus nigra* sp. laricio) en culture en conteneur. *PH.M. Revue Horticole* 350, pp 35-40.

**ARBEZ M., 1987 :** les ressources génétiques forestières en France. Tome 1 : les conifères .Ed. INRA et BRG ; Paris ; pp 151-158.

**AUBERT G., 1969 :** Methodes d'analyse des sols. C.R.D.P Marseille 191 p.

**AUBERT G., 2005 :** Dynamique des peuplements de pin maritime en région méditerranéenne. Française. *Forêt méditerranéenne* t XXVI, n° 1. pp37-47.

**AZOUAOUI G., 1996:** la fonte des semis dans les pépinières forestières. *Revue, la foret Algérienne* N°2 , pp 21- 25.

- BAIZE D., 1988** : Guide des analyses en pédologie 2<sup>ème</sup> édition revue et augmentée, Edition INRA. Paris France.
- BAIZE D ., JABIOL B ., 1995** : Guide pour la description des sols. INRA.PARIS, 375p.
- BAIZE .D ., 2000** : Guides des analyses en pédologie, 2<sup>ème</sup> édition
- BARIDEAU L .,1986**: Les boues d'épuration, menace pour l'environnement ou matière première pour l'agriculture ? . Bulletin de la recherche agronomique, pp369-382.
- BERNARD G.,1995** : Des pins de tranchage en pays de loire. FE n° 105
- BARITEAU M., 2005** : le pin maritime 40 ans de recherche en région méditerranéenne : Forêt méditerranéenne t XXVI, n° 1. pp 5-10
- BASCOUL V ., CHAUMONYET O., 2000** : Epanchage sylvicole des boues de station d'épuration . Experience pratique du SIVOM du pays des Maures et du pays des Maures et du Golfe de Saint-Tropez. Foret méditerranéenne t,XXI, n°3 .pp374-380.
- BECHER M., 1977** : Je reconnais les arbres, collection agir et connaître. Ed. Andre Leson, 126p
- BENSAID S., 1981** : Approche pédologique et phytosociologique des formations de pin maritime (*Pinus pinaster*. Ait ) dans la région d'El-kala et collo .Thèse.ing.INA El Harrach ,58 p.
- BLANC D .,1987** : les cultures hors –sol ; deuxième édition INRA (Paris), 409 p
- BOUCHEREB A., 1997** : Essai comparatif de cinq provenances de pin maritime (*Pinus pinaster* .Ait) en pépinière hors-sol de Guerbes (wilaya de skikda). Thèse ing.Batna . 65p.
- BOUDY P .,1950** : Economie forestière Nord africain.tome II,Monographie et traitement des essences forestières .Fasc.1Ed, larose, paris ; pp 259-260.
- BOUCHEREB A., 1997** : Essai comparatif de cinq provenances de pin maritime (*Pinus pinaster* .Ait) en pépinière hors-sol de Guerbes (wilaya de skikda). Thèse ing.Batna . 65p.
- BRAM V et LEFEVRE G., 1977** : Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduelles de stations d'épuration. Bull.d'AFES n°3.pp125-140.
- BRAHIMA G., 1966** : Principes fondamentaux d'agriculture générale. Vigot frères éditeur, Paris V<sup>ème</sup>, 388p.
- CALLEN C., 1977** : Les coniferes cultivées en Europe . Col.Tech.Hort.Spec.Ed ; Ballene.. Volume II 614 –118 pp.
- CAMPREDON M, 1985**: Aspects agronomiques de la pépinière forestière en région Langedoc-Roussillon. Analyse et proposition, ENITAH (ANGERS), 61P.
- CHANG, A.C., GRANATO, T.C., PAGE, A.L., 1992** : A methodology for establishing phytotoxicity criteria for Cr, Cu, Ni, and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludges. J.

Environ. Qual., 21, 521–536.

**CHEVALIER G ., 1985** : la mycorhization contrôlé en pépinières, possibilités d'application en conteneurs. Rev, Forest . Française XXXVI T. 2 , pp 93-106.

**CORNINE B., DOMINIQUEC., 1988**: Les plantations d'alignement le long des routes, chemins, canaux, allées Collection mission du paysage. Institut pour le Développement Forestier IDF, 416 pages.

**COUILLARD C., 1986** : Etude de quelques indices de croissance de *Larix laricina* fertilisés par des boues anaérobies . Pub.div.selper LTD , 1986, pp 191-206.

**COUILLARD C., 1988** : étude de quelques indices de croissance de larix laricina fertilisés par des boues anaérobies. Pub.div .seper Ltd, .pp191-206.

**COUILLARD C., GRENNIERE Y ., 1988** : alternative à la gestion des boues résiduaires municipales de : recyclage en sylviculture . Sci.techn. de l'eau .Vol.20 n°3.pp215-220.

**CRIPPS, R.W., WINFREE, S.K., REAGAN, J.L., 1992**: Effects of sewage sludge application method on corn production. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23, 1705–1715.

**CROZON J.B., et NEYROUD J.A., 1990** : Etudes des caractéristiques physiques de quelques substrats en horticulture. Rev. Suisse, Arbor. Hortic., Vol.22 (6).

**DESPREZ-LOUSTEAU M-L, DUPUIS F., 1994** : Variation in the phenology of shoot elongation between geographic provenances of maritime pine (*Pinus pinaster*) – Implications for the synchrony with the phenology of the twisting rust *Melampsora pinitorqua*. Ann Sci for 51: 553-568

**DESTREMAUX H, 1974** : précision sur les aires naturelles des principaux conifères en vue de l'individualisation des provenances. Extrait des annales. Rech. For. au maroc tome 14, pp (29-41).

**DEVERTHAMON H ., 1995** : Et les échecs .....? FE n° 105 , p1.

**DJELLABI A., BEZZAZ F., ZITOUNI A., 1998**: Mise au pint d'un substrat de culture en substitution à la tourbe londe importée pour la production de pin maritime . Document interne INRF . 15p

**DOMMERGUE ., MONGENOT., 1970** : Association mycorhizienne. Ed.Masson, pp 669-671.

**DUBOS C., 2001** : Réponse moléculaire de jeunes plants de pin maritime soumis à un stress hydrique en milieu hydroponique. Thèse,docteur . Uni. Henri Poincaré, Nancy I. 291 p

**DUCHAUFOUR PH ., 1977**: Pédogenèse et classification pédologique (II). Edition MASSON.(Paris), 477p.

**DUCHAUFOR P., 1989** :Rôle des facteurs biochimiques et physique du sol dans la nutrition des espèces forestières .C.R.Acad.Agric.Fr., 75 n°5, 3-10

**DUCHENE PH., 1990** : les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités. Document technique F.N.D.A.E France Antony (F.R) : Cemagref , pp7-11.

**EMBERGER L., 1960** : traité de botanique systématique. Ed, Masson et sic. Paris ; pp 383-417.

**FALCONNET .G., 1992** : La production des plants forestiers hors-sol.

ENGREF (Nancy), 18 p.

**Farjon A., 1984**: Pines. Drawings and descriptions of the genus pinus. Ed brill EJ, Backhuys W, Leiden, NL,220p

**FOUCARD J.C. 1994** : Filière pépinière: de la production à la plantation. Lavoisier Paris 428 p.

**FRANZ X Stadlemen.,2002** : les boues d'épuration : Engrais ou déchets ?. Bulletin de l'EAWAGnews, 53.pp 9-12.

**GAGNON JD., 1972** : Les égouts domestiques, un engrais valable en foresterie environnement Canada .Centre de recherche forestière des laurentides. Québec. rapport Q-F-X-38, 24 p

**GARBAYE J., 1986** : la production rapide de plant feuillus sur tourbes fertilisée. Les bases de la technique. Rev. Forest. Française XXX VII T-3,pp 213- 219.

**GOBAT J., 1986** : Un triangle granulométrique par les tourbes ; Analyse semi automatique et représentation graphique,pp23-28.

**GRENIER Y.,1989** : La valorisation des boues d'usine d'épuration des eaux pour la fertilisation des forets.Thèse. Ing Canada, rech, forst, 189p

**GROS A.,1979** : Engrais, guide pratique de fertilisation,7<sup>ème</sup> édition : Maison rustique, 553p.

**GUYON J.P., 1980** : variabilité géographique et écophysiological du pin maritime. Mémoire du 3<sup>o</sup> année de l'ENITEF , INRA ; Bordeaux, 80p.

**Guy A., 1978** : Methodes d'analyse des sols. Edition .CRDP (marseille).191p

**HE X.T., TRAINA S.J., Logan T.J., 1992** : Chemical properties of municipal solid waste composts. J. Environ. Qual., 21 : 318-329.

**IGOUD S ., 1991** :Contribution à l'étude des boues résiduares issues de station d'épuration urbaine dans les plantations forestières. These ing .INA EL – Harrach, 62p

**JACTEL H.,MENASSIEU P., 2005** : La cochenille du pin maritime, *Matsuccocus feytaudi*, nouvelles données épidémiologiques et perspective de lutte. Forêt méditerranéenne t XXVI, n° 1.pp23-37.

**JARDE, E., MANSUY, L., FAURE, P., 2003** : Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas

- JACTEL H., MENASSIEU P., 2005** : La cochenille du pin maritime, *Matsuccoccus feytaudi*, nouvelles données épidémiologiques et perspective de lutte. Forêt méditerranéenne t XXVI, n° 1. pp23-37.
- JARDE, E., MANSUY, L., FAURE, P., 2003** : Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 68-69, 331-350.
- JEAN M., 1995** : Dossier, de pin maritime. FE n°105
- JUST G., 1979** : valorisation agricole des boues issues du traitement des eaux usées urbaines cebedeau N°432, pp 461-467.
- JUSTE C., CATROUX X., 1980** : Intérêt agronomique des boues résiduelles et conditions préalable de leur utilisation .C.R .séminaire .E.A.S. Bale .PP 1-24
- KHALDI H., 1994** : Contribution à l'étude de quelques mélanges pour la production de plants forestiers avec le sachet polyéthylène sans fond dans la région de Guerbès (w. Skikda). Thèse ing. INA El Harrach 75 p.
- KIEMNEC G.L., HEMPHILL D.D., HICKEY M., JACKSON T.L., VOLK V.V., 1990** – Sweet corn yield and tissue metal concentration after seven years of sewage sludge applications. *J. Prod. Agric.*, 3 : 232-237.
- KORBOULEWSKY N., MASSON G., BONIN G., MASSIANI C. ET PRONE A. 2001** : Effets d'un apport de compost de boues de station d'épuration dans un sol d'un vignoble du Sud de la France. *Revue, Etude et Gestion des Sols*, Volume 8, 3, 2001 - pages 203 à 210
- LACEE C., 1985** : Analyses des boues. AFEE, Tome 1, 135 p .Tome 2, 127 p
- LAMARI M., 1979**: Utilisation des boues résiduelles dans l'agriculture . cas de la station de Draa Ben Kheda, mem , ing .INA .Alger. PP –17-32
- LAMBKIN, D., NORTCLIFF, S., WHITE, T., 2004** : The importance of precision in sampling sludges,biowastes and treated soils in a regulatory framework *Trends in Analytical Chemistry*, 23, PP10-11.
- LEMAIRE F., DARTIGUES A., RIVIERE L.M. ET CHARPENTIER S., 1989** : Cultures en pots et conteneurs. Principes agronomiques et applications. INRA. *Revue horticole*, 179 p.
- LEMAIRE F., DARTIGUES A., RIVIERE L.M., 1990** : les substrats : Problèmes particuliers posés par les plantes ornementales en pots et conteneurs , les relations entre les systèmes racinaires des végétaux et les sols ou substrats artificiels . compte rendu des séminaires de groupe d'étude des racines. (Aix de provence) .pp 55-71.

- MCCONNEL D.B., SHIRALIPOUR A., SMITH W.H., 1993** : Compost application improves soil properties. *Biocycle*, 4 : 61-67.
- LAMHAMEDI M S., AMMARI Y., FECTEAU B., FORTIN A., MARGOLIS H ., 2000** : Problématique des pépinières forestières en Afrique du Nord et stratégies de développement Cahiers d'études et de recherches francophones / Agricultures. Volume 9, Numéro 5. PP369-80.
- MOINERAU J., HERRMANN Q ., FAVORT JC et REVIERE LM., 1987**: les substrats – Inventaires, caractéristiques, ressources, in blanc D, 1987- les cultures hors sol. deuxième édition I NRA (paris) .pp 15-77.
- MORAL R., 1997** : Heavy metal pollution in sewage sludges and agricultural impact. *Fresenius Envir. Bull.*, 6 : 519-524.
- MORENO-CASELLES J., PEREZ-MURCIA M.D., PEREZ-ESPINOSA A.,**
- MUSTIN M., 1987**: le compost, gestion de la matière organique , la valorisation organique des compostes et généralement la matière organique . Edit ; francais dulux , paris , 954 p
- NAKIB M.,1986** : Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux et boues d'épuration dans l'agriculture ; cas des effluents urbains et de laiteries. Thèse magistère, option aménagement et mise en valeur.I.N.A El Harrach. Alger ,125p
- Office International de l'Eau, 2001** : développer les compétences pour mieux gérer l'eau la stabilisation des boues de station d'épuration : techniques de mesure du procédé.
- OUANOUKI B ., IGOUD S., 1993** : Contribution à l'étude des boues résiduares issues des stations d'épuration urbaine dans les plantations forestière. *Rev . for.fr. XLV-2*.pp 153-158
- OZOES-HAMPTON M., HANLON E., BRYAN H., SCHAFFER B., 1997** : Cadmium, copper,lead, nickel and zinc concentration in tomato and squash grown in MSW compost-amended calcareous soil. *Compos. Sci. Util.*, 5 : 40-45.
- PARDE ; 1946** : les conifères. Ed, la maison rustique, Paris VI, pp146-148
- PARDE ; 1946** : les conifères. Ed, la maison rustique, Paris VI, pp146-148
- PERRIN .R ., 1985** : Compte rendu de mission en Algérie. INRA. Paris, 8p. projet FAO, PNUD ALG.83/103.
- PIVOT D et REIST T., 1994** : Horticulture et hydroponique, *Revue suisse.Viti Arbori : Horti*.vol 26 .(4). pp247-248.
- PIVOT D et REIST T., 1994** : Horticulture et hydroponique, *Revue suisse.Viti Arbori : Horti*.vol 26 .(4). pp247-248.
- POLAN, P., J. GAGNON et J.P. JONES., 1993** : L'utilisation du compost de boues de stations d'épuration des eaux comme substrat de culture pour la production des plants forestiers en récipients. *Canadian Journal of civil engineering* 20: 518-527.

- PIVOT D et REIST T., 1994** : Horticulture et hydroponique, Revue suisse. Viti Arbori : Horti.vol 26 .(4). pp247-248.
- POLAN, P., J. GAGNON et J.P. JONES., 1993** : L'utilisation du compost de boues de stations d'épuration des eaux comme substrat de culture pour la production des plants forestiers en récipients. Canadian Journal of civil engineering 20: 518-527.
- POCHON.J et DEBERJAC. H ., 1968** : Traité de microflore des sols application agronomique. Ed. Dunod.pp 131-245.
- RAFFIN A., 2005** : Génétique et pin maritime dans le sud-est de la France. Forêt méditerranéenne t XXVI, n° 1. pp 10-17.
- REDLICH D. et VERDURE M., 1975:** Le comportement physique des tourbes et terreaux en cours de culture. PHM. Rev. Horticole, n°160, pp 13-20.
- RIPERT C ., 2000** : Utilisation de composts d'ordures ménagères en reboisements méditerranéens. Forêt méditerranéenne t,XXI, n°3 .pp374-380.
- RIVIERE .L.M ., 1980** : Importance des substrats pour les cultures hors-sol .PHM.Rev Horti 209, pp 23-27.
- ROULA S., 2005:** Caractérisation physico-chimique et valorisation des boues résiduares urbaines pour la confection de substrats de cultures en pépinière hors-sol. Thèse. Magistère. Dpt. Agro. Batna.115p.
- SAHLSTRM, L., ASPAN, A., BAGGE, E., THAM M.L.D., ALBIHN, A., 2004:** Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. Water Research, 38, 1989-1994.
- SARAG M., 1985** : Contribution à l'étude de la valorisation agronomique de composts urbains sous climat méditerranéen. Thèse de Doctorat de 3<sup>ème</sup> cycle – Nancy France.
- SBIH M ., 1990** : étude de la biodégradation des boues résiduares des stations d'épuration effet sur la bio - disponibilité du P pour le végétal. Mémoire .DEA .INAPG et INRA.Grignon .39p.
- SEIGUE A., 1985** : la foret circum méditerranéenne et ses problèmes . Ed, maissonneuve . larose. Paris , 502 p.
- SINGH, K.P., MOHAN, D., SINHA S., DALWANI, R., 2004:** Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area. Chemosphere, 55, 227–255.
- TAGHILT F ., 1984** : Rôle et influence des différents substrats sur le développement et la croissance. These. Ing. Agro-INA. El Harrach .Alger, 96 p .

**TEMAGOULT O., 2005:** Recherche d'un substrat de culture pour la production de plant en pépinière. Thèse. Magistère. Dpt. Agro. Batna.115p.

**WERTHER J., OGADA T., 1999:** Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science, 25 55–116.

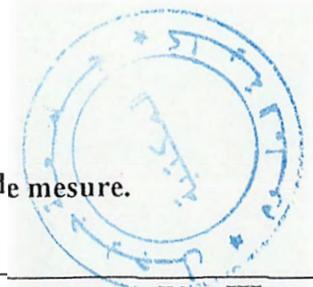
# **ANNEXES**

**Annexe 1 : Taux de levée**

Substrats Dates	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
18/03/06	25	13	14	25	22	30	21	16	27	19	20	29	34	10	29	36	23	25
22/03/06	60	55	46	59	64	59	49	48	52	52	54	57	54	38	46	68	53	46
25/03/06	67	66	62	66	74	73	65	62	67	64	67	65	60	58	57	71	60	59
29/03/06	75	74	69	74	76	77	74	71	75	73	77	70	72	67	71	72	70	68
01/04/06	77	75	72	74	77	78	77	71	77	74	80	70	75	72	72	74	72	71
05/04/06	77	75	72	74	78	78	77	72	77	74	80	70	75	74	72	74	72	71
09/04/06	77	75	72	74	78	78	77	73	77	74	80	70	75	74	73	74	72	74
12/04/06	77	75	72	74	78	78	77	73	77	74	80	70	75	74	73	74	72	74
16/04/06	77	75	72	74	78	78	77	73	77	74	80	70	75	74	73	74	72	74

**Annexe 2 : Taux de survie**

Substrats Date	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
20/08/06	76	73	72	74	75	78	73	65	77	71	78	70	75	70	73	74	72	74
T de survie	98.7	97.33	100	100	96.15	100	94.8	89.04	100	95.94	97.5	100	100	94.59	100	100	100	100



**Annexe 3 : Moyennes des hauteurs par substrat de culture et par date de mesure.**

Blocs	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
14/5/2006	4.30	5.71	5.14	5.56	4.83	4.59	4.59	6.54	6.21	5.61	5.12	4.37	4.34	4.79	5.49	5.22	5.12	4.28
14/6/2006	4.82	7.45	8.04	7.09	6.52	5.26	4.75	8.28	8.14	7.10	6.82	5.33	4.79	6.69	8.21	6.47	6.32	5.05
14/7/2006	6.20	10.32	10.5	9.64	8.70	7.17	6.04	11.02	11.76	10.21	9.96	6.56	7.53	9.08	10.55	8.9	8.74	7.33
14/8/2006	8.25	14.58	13.5	13.87	12.43	9.28	6.59	12.92	14.62	12.02	13.62	9.05	7.71	11.91	13.23	12.2	11.95	10.85

**Annexe 4 : Moyennes des diamètres au collet par substrats de culture et par date de mesure.**

Blocs	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
14/5/2006	1.46	1.27	1.31	1.36	1.37	1.36	1.33	1.15	1.39	1.22	1.24	1.32	1.35	1.25	1.19	1.23	1.25	1.17
14/6/2006	1.50	1.63	1.53	1.76	1.55	1.61	1.57	1.78	1.75	1.72	1.78	1.58	1.45	1.42	1.79	1.45	1.53	1.41
14/7/2006	1.55	2.05	1.86	1.89	1.88	1.63	1.62	2.01	2.21	1.89	1.96	1.62	1.48	1.96	2.05	1.96	1.81	1.52
14/8/2006	1.63	2.59	2.63	3.05	2.53	2.14	1.67	2.45	2.80	2.35	2.65	1.89	1.81	2.30	2.48	2.46	2.34	2.10

**Annexe 5 : Rapport hauteur/diamètre au collet par substrat de culture.**

Blocs	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
Substrats / Date	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
14/5/2006	5.06	5.62	5.13	4.54	4.91	4.33	3.94	5.26	5.22	5.11	5.13	4.81	4.25	5.17	5.33	4.95	5.10	5.16

Annexe :

**Annexe 6 : Moyennes des poids frais des parties aériennes des plants**

Blocs	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
Substrat	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Moy.(g)	1,71	4,00	5,47	1,16	3,96	2,26	1,05	4,00	5,47	3,62	4,58	3,08	0,89	5,32	4,93	3,58	4,76	3,08

**Annexe 7 : Moyennes des poids frais des parties souterraines des plants**

Blocs	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
Substrat	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Moy.(g)	1,28	1,75	1,43	2,21	3,00	1,27	1,06	1,75	1,43	1,81	2,72	2,02	1,10	4,49	3,50	2,86	3,04	2,02

**Annexe 8 : Moyennes des poids secs des parties aériennes des plants**

Blocs	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
Substrat	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Moy. (g)	1,36	3,32	4,09	0,93	2,16	1,85	0,56	1,87	6,43	2,25	3,18	1,49	0,62	4,03	2,65	2,06	2,36	2,41

**Annexe 9 : Moyennes des poids secs des parties souterraines des plants**

Blocs	Bloc I						Bloc II						Bloc III					
Substrat	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Moy.(g)	1,01	0,82	1,04	1,49	1,64	0,73	0,85	3,89	4,45	1,03	1,91	1,57	0,76	3,42	2,32	2,12	1,83	1,39

**Annexe 10: analyse de la variance pour le taux de levée**

Source de var	SCE	D.D.L	C.M	F.F	F.T	SIGNI
Var .totale	172.72	17	10.16			
Var. fact	39.3	5	7.86	0.70	2.85	N S
Var. blocs	20.32	2	10.16	0.90	4.10	NS
Var. résidu.	113.0	10	11.30			

## Résumé :

Ce travail porte sur la caractérisation des boues résiduelles issues des stations d'épuration de point de vue physico-chimique, afin de vérifier si ce type de boue peut être utilisé pour la production de plants forestiers en pépinière hors-sol. Ainsi, la croissance et le comportement de plants de pin maritime (*Pinus pinaster* Ait) en pépinière, cultivés dans un substrat renfermant des proportions en volume de 50 % de l'humus forestier et 50 % de granulés de liège (substrat témoin), fut comparée à celle de plants dont l'humus forestier (50%) fut remplacé par différentes proportions de boue (10,20,30,40 et 50%).

Après un cycle d'élevage en pépinière, les meilleurs taux de croissance en hauteur, diamètre au collet et biomasse et ainsi l'aspect qualitatif des plants de pin maritime ont été obtenus avec le substrat composé de 20 % de boues. Dans cette expérimentation, l'utilisation de boues de stations d'épuration comme composante dans les substrats de culture en proportion supérieure à 20% a déclenché un phénomène de jaunissement des plants de pin maritime et ceci pourraient s'expliquer essentiellement par une carence ou un excès de certains éléments nutritifs ou par un phénomène de toxicité du à la présence de certains métaux lourds dépassent les normes requises.

**Mots clés :** Boues résiduelles, substrat, pépinière hors-sol. Pin maritime, croissance, caractéristiques physico-chimiques.

## المخلص

يهدف هذا العمل إلى اختبار بعض الخصائص الفيزيائية-الكيميائية للوحل الناتج عن محطة تصفية المياه المستعملة لمدينة سطيف، والتي استعملت كخليط خلال مدة التربية في مشتل خارج التربة، ومعرفة مدى تأثيرها على نمو و حالة شجيرات الصنوبر البحري الصحية مقارنة مع شاهد.

تعرض هذه الدراسة كل التفاصيل المتعلقة بسير التجربة، ابتداء من وضع بكرة الصنوبر في التربة إلى نهاية فترة التربية في المشتل. أختبر ستة خلطات متكونا كل واحد من نسب مدروسة للوحل التي تتراوح من 0 إلى 50% بالنسبة للعنصر القابض للماء، أما عنصر التهوية فيبقى ثابت (50%).

و تم تحليل و معالجة كل المعطيات التي تم الحصول عليها بواسطة برامج إحصائية مدى صلاحية الشتلات المنتجة و مطابقتها للمواصفات المعمول بها، اعتمدنا على المواصفات المورفولوجية (النمو الطولي، نمو القطر، نوعية الجذور) وبعض المواصفات الفيزيولوجية (إنتاج المادة).

النتائج المتحصل عليها بينت لنا أن الوحل المستعمل في هذه التجربة غني بالمواد العضوية و أن تركيز بعض المواد المعدنية الثقيلة تبدو سامة و فاقت المقاييس المعمول بها، و أن شتلات الصنوبر البحري المغروسة في الخليط رقم "5" أنها الأحسن من حيث المواصفات المورفولوجية و الفيزيولوجية و حتى حالتها الصحية.

. و بصفة عامة يمكن اعتبار نتائج التجربة، جد مشجعة حيث تفتح أفقا واسعة لتحسين مواصفات خلطات التربة المحلية التي بإمكانها إنتاج شتلات ذات نوعية جيدة.

الكلمات الجوهرية: الوحل، مشتل فوق الأرض، الصنوبر البحري، النمو، المواصفات المورفولوجية والفيزيولوجية، الخصائص الفيزيائية-الكيميائية، المعادن الثقيلة

## Summary

This work aims to show the value of the resulting mud from the used water filtration station of Sétif. We have used it as a mixing at an up ground nursery that has the role of water restrainer and follow its effects on the healthy state of the maritime pine in relation to a witness. Six mixing were chosen to be tested. Each of them contains a proportion of mud which vary from 10 % to 5 % (from 6 to 20 respectively). The morphological and physiological characteristics of these plants were studied by taking monthly measures during their stay at the nursery (six months). The physicochemical analysis results proved that the residual mud of the given station is rich of the organic substance; and that the concentration of certain heavy metals (appears) is toxic and pass the used measures (AFNOR).

After the growth period (6 months) at the nursery, the results show that the plants grew in the fifth mixture S5 give the best mixture for producing the maritime pine plants in term of the morphological- physiological characteristics and their healthy state.

**Key words:** Residual mud- maritime pine- up ground nursery- physicochemical characteristics- behaviour- growth.