

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
La Recherche Scientifique
Université Colonel El Hadj Lakhdar
Batna**

**Faculté des sciences
Département d'agronomie
Mémoire de fin d'étude présenté par**

ROULA SALAHEDDINE

**En vue de l'obtention du diplôme de magistère en sciences
Agronomiques
option : forêt et conservation des sols**

**caractérisation physico-chimiques et valorisation
des boues résiduelles urbaines pour la confection de substrats
de culture en pépinière hors-sol**

devant le jury :

**R . BENSAID MC
A.ZITOUNI M R
M. KALA MC
Dr S. BELBAHRI
Dr H. MALKI**

**université de Batna
INRF SETIF
université de Batna
université de Batna
université de Batna**

**Président
Rapporteur
Examineur
Examineur
Examineur**

Année universitaire : 2002 - 2005

Sommaire

	pages
Introduction.....	1
<i>Première partie</i>	
<u>CHAPITRE I : 3 - 16</u>	
I-Origin des boues résiduaires (urbaines).....	3
I-1-Le pré traitement de l'eau	3
I-1-1-Le dégrillage.....	3
I-1-2-Le déshuilage.....	3
I-1-3-Le dessablage	3
I-2-Les traitements mécaniques	4
I-2-1-La décantation :.....	4
I-2-2-La filtration :.....	4
I-3-Les traitements biologiques :.....	4
I-3-1-Les boues activées	4
I-3-2-Les lits bactériens	5
I-3-3-Le lagunage	5
I-4-Le traitement anaérobie de l'eau	5
I-5-Les traitements physico-chimiques	5
I-5-1-La floculation	5
II-Le traitement des boues	6
II-1-Définition.....	6
II-2-Les objectifs du traitement des boues	6
II-3-La stabilisation des boues	6
II-3-1-La digestion des boues	6
II-3-2-L'épaississement des boues	7
II-4-La déshydratation des boues	7
II-4-1-Les lits de séchage	7
II-5-La pasteurisation des boues	7

II-5-1-Le traitement à la chaux	7
III-propriétés des boues	8
III-1-Propriétés physiques des boues	8
III-1-1-La teneur en matière sèche	8
III-1-2-la teneur en matières volatiles	8
III-1-3-la teneur en eau interstitielle	8
III-1-4-La viscosité	8
III-1-5-La charge spécifique	8
III-1-6-La résistance spécifique	9
III-1-7-La compressibilité	9
III-1-8-Les pourvoires calorifiques	9
III-2-Propriétés chimiques	9
III-2-1-Les éléments nutritifs	9
III-2-2-Les micro polluants	9
III-2-2-1-Les micro polluants organiques	9
III-2-2-2-Les micro polluants minéraux	10
III-2-2-2-1-Les éléments essentielles pour la vie des plantes	10
a)-Le cuivre	10
b)-Le Zinc	10
c)-Le fer et le Manganèse	10
d)-Le Bore	10
e)-Le molybdène	10
III-2-3-2-2-Les éléments toxiques	11
a)-L'aluminium	11
b)-L'arsenic	11
c)-Le cadmium	11
e)-Le chrome.....	11
f)-Le mercure	11
g)-Le Nickel	11
h)-Le plomb	12
III-2-4-Les vitamines	12

III-3-Les propriétés biologiques	12
III-3-1-Les bactéries	12
III-3-2-Les virus	12
III-3-3-Les parasites	13
III-3-4-Les champignons	13
III-3-5-Les algues	13
III-3-6-La macro faune	13
IV-Les caractéristiques des boues valorisables	13
V-Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture	14

V-1-Les pathogènes

.....	14
V-2-La toxicité	14
V-3-Les micro polluants organiques	14
VI-Les autres applications agricoles	15
VI-1-L'épandage en forêt	15
VI-2-Valorisation des boues en milieu forestier et en milieu agricole	15

CHAPITRE II : 17 - 27

I-Définition de substrat de culture	17
II- Propriétés physiques chimiques et physico-chimiques des substrat de culture en conteneurs	17
II-1-Propriétés physiques	17
II-1-1-La structure	18
II-1-1-1-Les conséquences de la structure	18
II-1-1-1-1-La porosité	18
II-1-1-1-2-La texture	19
II-2-Les propriétés physico-chimiques.....	19
II-2-1-Le pH.....	19
II-2-2-Le rapport C / N	20
II-2-3-La capacité d'échange cationique (C.E.C)	21

II-2-4-La conductivité électrique (CE) (salinité).....	22
II-2-5-La matière organique	22
II-2-6-La température et l'humidité du sol.....	23
II-3-Les propriétés chimiques	23
II-3-1-Rôles des éléments nutritifs	23
II-3-2-Nutrition des plantes.....	23
a)-L'Azote.....	24
b)-Le phosphore	24
b)-Rôles du phosphore	24
c)-Le potassium	24
d)-Le calcium.....	25
e)-le Magnésium	25
f)-le Soufre	25
g)-Le Fer	25
h)-Manganèse	25
i)-Le Cuivre	25
j)-Le Zinc	26
k)-Le Bore.....	26
III-Classification des substrats selon leur inertie chimique	26
IV- Nécessité des mélanges en pépinières	26

CHAPITRE III : 28 - 31

I-Normes et qualité des plants	28
I-1-Définition d'un plant de qualité	28
I-2-Critères des plants de qualité	28
I-2-1-L'age du plant.....	28
I-2-2-La viabilité du plant	28
I-2-3-Conformité du système racinaire	28
I-2-4-Qualité de la partie aérienne	29
I-2-5-Etat sanitaire.....	29
II-La normalisation des plants forestiers.....	29
II-1-Définition des normes.....	29

II-2-Intérêt de la normalisation pour les pépiniéristes.....	29
II-3-Intérêt de la normalisation pour l'utilisateur.....	29
II-4-Application des normes	29
II-4-1-Relation âge- taille	30
II-4-2-relation hauteur diamètre au collet	30
II-5-Les normes pratiquées en Algérie	30
II-5-1-Critique	31
II-6-Normes (F.F.N) et les normes (C.E.E).....	31

CHAPITRE IV : 32 - 36

I-Place taxonomique et systématique de Quercus suber-L	32
II- Principales caractéristiques botaniques.....	32
II- Principales caractéristiques botaniques.....	32
II-2-Feuilles.....	32
II-3-Fleurs	32
II-4-Glands	32
II-5-Rameaux	33
II-6-L'écorce (liège).....	33
II-7-Racines.....	33
III-Aire de répartition de chêne-liège	33
III-1-Aire de répartition mondiale	33
III-2-Aire de répartition algérienne.....	34
IV- Exigences écologique de chêne-liège.....	35
IV-1-Les facteurs édaphiques.....	35
IV-2-Température	35
IV-3-La lumière	35
IV-4-Humidité	35
IV-5-Les gelées.....	36
V-Importance économique	36
VI- Utilisation du chêne-liège	36

DEUXIEME PARTIE : MATERIELES ET METHODE 37 - 49

I-Présentation de la zone d'étude	37
II- Matériels et méthodes	37
II-1-Matériaux utilisés	37
II-1-1-Eléments rétenteur d'eau	37
A)-Boue résiduaire (station d'épuration de Setif) :.....	37
A-1-Pré-traitement :.....	37
a) Relevage :.....	37
b) Dégrillage :.....	37
d) Dessablage et déshuilage :.....	37
A-2-Procédé d'épuration :.....	38
a)- Décantation primaire :.....	38
b) Stabilisation aérobique :.....	38
c) Epaississement :.....	38
d) Aération :.....	38
e) Décantation secondaire :.....	38
f) Lits de séchages :.....	38
B)-Humus forestier sous feuillus (suberaie) :.....	39
II-I-2-Eléments aérateurs :.....	39
A)-Granulés de liège incinérées :.....	39
B)-Grignons d'olive :.....	39
C)-Sable :.....	40
II-1-3-Conteneurs « WM » :.....	40
II-1-4-Les caissettes :.....	40
II-1-5-Les bâches de culture surélevées :.....	40
II-1-6-Matériel végétal :.....	40
III-Méthode :.....	41
III-1-Préparation des substrats :.....	41
III-1-1-Tamissage :.....	41
III-1-2-Mélange et choix des substrats :.....	41
III-2-Protocole expérimental :.....	42

III-3-Conduite de l'élevage :	43
III-3-1-Echantillonnage et description de la provenance :	43
III-3-2-Semis :	43
III-3-3-Arrosage :	44
III-3-4-Protection des semis :	44
IV- Mesures et observations :	44
IV-La levée des semis :	44
IV-2-Le taux de survie :	44
IV-3-Mesure des hauteurs et des diamètres au collet :	44
IV-3-1-Technique d'échantillonnage :	44
IV-3-2-Hauteur des plants :	45
IV-3-3-Diamètre au collet :	45
IV-4-Calcul du nombre des feuilles et du nombre des branches :	45
IV-5-Mesure de la surface foliaire :	45
IV-6-Le calcul du rapport hauteur / diamètre au collet :	46
IV-7-Biomasse aérienne et racinaire et nombre de ramifications racinaires :	46
a)-Poids frais de la partie aérienne :	46
b)-Poids sec de la partie aérienne :	46
c)-Poids frais partie racinaire :	46
d)-Poids sec de la partie racinaire :	46
IV-8-Aspect du système racinaire et de la tige :	46
IV-9-Les calculs statistiques :	46
V-Analyses physico chimiques :	47
V-1-Analyses chimiques :	47
a) Détermination du pH :	47
b) Détermination de la conductivité électrique :	47
c) Détermination du rapport C/N :	47
d) carbone organique :	47
e) Azote total :	47
f) Calcaire total :	48
g) Calcaire actif :	48

h) Phosphore total et phosphore assimilable :	48
i) Magnésium et Calcium :	48
j) Potassium et sodium :	48
) La capacité d'échange cationique (C.E.C) :	48
l) Les éléments traces :	48
V-2-Analyses physiques :	48
a) La granulométrie :	48
b) Détermination de la densité apparente :	49
c) La porosité totale :	49

TROISIEME PARTIE : RESULTATS ET DISCUSSION 50 - 83

I-Résultats des analyses au laboratoire :	50
I-1-Analyses chimiques de la boue :	50
I-2-Analyses physiques de la boue :	51
I-3-Résultats analyses physico-chimiques des substrats de culture :	52
II- Interprétation des résultats des analyses de la boue et des substrats :	53
II-1-Analyses physique :	53
II-1-1-L'analyse granulométrique :	53
II-I-2-Porosité totale :	54
II-2-Analyses chimiques :	54
II-2-1-Le pH :	54
II-2-2-La matière organique :	54
II2-3-Le calcaire total :	55
II-2-4-Calcaire actif :	56
II-2-5-La conductivité électrique (C.E) :	56
II-2-6-Le rapport C/N :	56
II-2-7-La capacité d'échange cationique (C.E.C) :	57
II-2-8-L'azote :	57
II-2-9-Le phosphore :	58
II-2-10-Calcium :	58
II-2-11-Potassium :	59
II-2-12-Magnésium :	59

II-2-13-Les éléments traces :	59
II-3-Taux de germination :	60
II-4-Taux de survie :	61
II-5-Action des substrats sur les caractéristiques morphologiques des plants :	62
II-5-1-Croissance en hauteur :	63
II-5-2-Accroissements cumulés en hauteur:	64
II-5-3-Croissance en diamètre:	65
II-5-4-Accroissement cumulé en diamètre:	66
II-5-5-Action des différents substrats sur le nombre de feuilles :	67
II-5-6-Evolution de nombre de feuilles :	68
II-5-6-Action des substrats sur la surface foliaire :	69
II-5-7-Action des substrats sur le nombre des branches:	70
II-5-9-Evolution de nombre de branches :	71
II-5-8-Nombre d ramifications racinaires :	72
II-6-Action des substrats sur les caractéristiques physiologiques des plants :	73
II-6-1-Poids frais partie de la aérienne :	73
II-6-2-Poids sec de la partie aérienne :	74
II-6-3-Poids frais de la partie racinaire :	75
II-6-4-Poids sec de la partie racinaire:	76
II-7-Rapport de la hauteur de la partie aérienne et diamètre au collet :	77
II-8-Déformations observées chez les plants de chêne-liège :	78
a) Le pivot tordu :	78
b) Division du pivot :	78
c) Crosse au niveau du collet :	78
d)Tige multiple :	78
III-Discussion des résultats :	79
III-1-Analyses physico-chimiques de la boue:	79
III-2-Analyses physico-chimiques des substrats :	79
III-3-Action des substrats sur les caractéristiques pondérales des plants :	82
CONCLUSION GENERALE : 84 - 85	
Conclusion générale	84

PREMIERE PARTIE
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction

Les eaux usées issues des diverses activités urbaines ne peuvent être rejetées telles quelles dans l'environnement, car elles contiennent divers polluants organiques et minéraux

(I.N.R.A, 1980). Elles doivent donc subir, avant leur rejet dans le milieu naturel, un traitement d'épuration qui conduit à la production des boues résiduaires.

La production des boues, augmente bien sur avec le développement des stations d'épurations. Un problème majeur consiste à trouver une solution pour éliminer ces résidus dans les conditions les plus économiques tout en respectant les contraintes liées à la protection de l'environnement et l'hygiène publique.

Il est à noter que l'élimination et le traitement des boues résiduaires importe jusqu'à 50% des coûts de fonctionnement d'une usine d'épuration des eaux (LASTER et al in GRENIER,1989),et représente l'un des plus grands problèmes auxquels les ingénieurs sanitaires doivent faire face aujourd'hui (GRENIER 1989).

Cependant, voici quelques solutions qui peuvent être qualifiées de finales pour éliminer les boues d'épuration. Au royaume uni, 67 % des boues produites sont épandues sur les terres

(2/3, en valorisation agricole et 1/3 en revalorisation des cités et en remplissage), 29 % sont larguées en mer, et 4 % incinérées (GRENIER,1989).

Le largage en mer représente à la fois un déplacement des problèmes de pollution , et une perte de matériel potentiellement réutilisable ou recyclé. La mise en décharge a les mêmes inconvénients, quant à l'incinération, les coûts du combustible nécessaire remettent en question ce mode d'élimination des boues .

Enfin, et à cet effet, on a pensé à les valoriser, car le recyclage par épandage est en général le plus économique que l'élimination, les boues doivent être considérées comme une matière première qui peut être réutilisée.

En l'utilisant comme fertilisant forestier par exemple, et à la production de matière ligneuse.

Ces boues sont riches en matière organique, en éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) et en oligo-éléments (Zinc, Fer, Cuivre, Manganèse) (I.R.N.A 1980).

L'utilisation des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines en sylviculture semble à priori, poser moins de problèmes qu'en agriculture, en effet, les risques de toxicité vis à vis de l'homme par exemple, par passage de métaux lourds dans la chaîne alimentaire n'existe pas.

Cependant, leur simple mise en décharge est un gaspillage, alors qu'on peut bénéficier de leur valeur fertilisante, on les utilisant dans les préparations de substrats pour la production de plants forestiers en pépinières, en effet, en Algérie le problème de la préparation des substrats se pose toujours dans la plupart de nos pépinières forestières, du fait que nous continuons à utiliser des mélanges traditionnels de qualité physico-chimiques médiocres, caractérisés par la compacité et la densité élevée du substrat, une mauvaise aération et une faible porosité, faible capacité d'échange cationique, faible capacité de rétention en eau, une mauvaise cohésion de la motte et une faible qualité nutritive. (ZITOUNI et al, 2002).

D'autres parts, le chêne-liège (Quercus suber L) est une essence forestière remarquable, qui présente une grande valeur économique, grâce à sa particularité physiologique qui le distingue des autres ligneux, à reproduire une nouvelle écorce subéreuse appelée communément liège, et ayant des qualités spécifiques de légèreté, de souplesse, et d'élasticité, d'autant plus que cette essence est assez rare, puisque son aire de répartition se limite au pourtour méditerranéen.

En Algérie l'état actuel de la suberaie est préoccupant (peuplements arrivés à terme de leur exploitabilité, déficience de la régénération naturelle, faible rendement à l'hectare, diminution progressive des quantités de liège récoltées annuellement), d'où la nécessité absolue de mener des actions de rénovation et de rajeunissement des forêts, dans ce cadre le recours à la plantation peut être préconisé. Seulement les pépinières classiques sont actuellement incapables d'assurer l'approvisionnement en plants de chêne-liège de qualité , et ceci est dû au mode de culture pratiqué par les pépiniéristes.

En effet, dans ces pépinières dites au sol l'élevage des plants se fait d'une manière traditionnelle, le conteneur utilisé étant le sachet plastique, et le semis se fait

généralement dans un substrat composé d'un mélange de terre et de sable d'oued, ce qui provoque des malformations racinaires qui condamnent dès le départ la réussite des reboisements.

En générale, pour les mélanges, on cherche à créer un substrat optimal pour le végétal cultivé, tant du point de vue physico-chimique, qu'économique, parce que les fertilisants chimiques coûtent très chers il serait intéressant de pouvoir les remplacer.

Par cet essai on cherche à faire une caractérisation physico-chimique de la boue et de voir les effets de son utilisation sur les plants de chêne-liège en pépinière dite « hors sol », l'objectif est de substituer le mélange de référence (substrat largement utilisé en Europe et à la pépinière de Guerbes) (50 % tourbe blonde et 50 % écorce de pin composté), économiquement coûteux et non disponible localement, par un substrat à base de boue, qui présente peut être les mêmes performances, mais qui restera, du point de vue économique, moins coûteux, est disponible localement.

I-Origine des boues résiduaires (urbaines) :

L'épuration des eaux résiduaires repose sur le principe de la séparation des éléments susceptibles de polluer le milieu naturel de l'eau véhiculant les déchets .

Les eaux résiduaires contiennent des déchets grossiers séparables sous l'action des forces de gravité lorsqu'on les laisse séjourner dans un bassin calme , ces phénomènes de décantation donnent naissance à des résidus, dont certains (sable grossier, graisse) sont évacués séparément et dont la majorité sont une composante inerte (parce que minérale) des boues.
(DUCHENE,1990).

Les polluants plus dispersés dans l'eau, ne peuvent suivre ce schéma simple, les techniques d'épuration permettent de transformer ces matières en un nouveau produit séparable de l'eau, là encore, par voie de décantation, plus précisément, la charge polluante à traiter est transformée en bactéries agglomérées par les produits d'excrétion de leur métabolisme.

L'activité épuratrice augmente naturellement la concentration des boues dans les ouvrages de traitement, les divers systèmes biologiques nécessitent de maintenir artificiellement (boues activées) ou naturellement la masse des boues dans le système .

En de ça d'une valeur de consigne, il doit donc être procédé au soutirage des boues en excès.

On trouvera ci-après les principaux traitements des eaux usées qui sont à l'origine de la production des boues .

I-1-Le pré traitement de l'eau :

I-1-1-Le dégrillage :

Il s'agit d'éliminer les éléments de grandes dimensions qui se trouvent dans l'eau d'égout brute (chiffons, matières plastiques,) et qui pourraient perturber le fonctionnement hydraulique de la station . Pour ce faire, on intercale une grille, dont les barreaux ont un écartement de l'ordre du centimètre, les refus de grilles sont généralement mélangés avec les boues, alors que, du fait de leur nature et de leur dimensions, ils sont assimilables à des ordures ménagères, ce mélange n'a pas d'importance lorsqu' on prévoit une incinération des boues, mais doit être évité pour les autres traitements et l'épandage . (BRAME ,1986) .

I-1-2-Le déshuilage:

Les eaux usées urbaines contiennent souvent des matières flottantes qui passent à travers les grilles (huiles, hydrocarbures, débris de graisse, fragments de matières plastiques) . Les huiles et hydrocarbures forment une couche mince en surface et gênent ainsi le processus d'aération , dans le cas des boues activées, quant aux matières flottantes solides elles risquent de former des bouchons qui pourraient obstruer des canaux ou des orifices dans la station, il est donc nécessaire de piéger ces substances au niveau du pré-traitement par un dispositif d'écémage , comme pour les refus de grilles, les résidus de déshuilage ne doivent être mélangés aux boues que s'il est prévu une incinération.(DUCHENE, 1990) .

I-1-3-Le dessablage :

Après le dégrillage, il reste encore dans l'eau des fragments solides qui peuvent décanter facilement, mais dont la dureté et la taille relativement importante, supérieure à 0.2 mm de diamètre, pourraient conduire à l'abrasion de certains éléments de la station et particulièrement les pompes, on élimine ces matériaux facilement décantables dans de petits bassins rectangulaires ou circulaires, les sables ainsi séparés, peuvent être mélangés aux autres boues sans problèmes majeurs si ce n'est qu'ils sont fermentescibles, il existe des dessableurs aérés pour pallier cet inconvénient .

I-2-Les traitements mécaniques :

I-2-1-La décantation :

Pour faciliter la précipitation des matières en suspension de diamètre inférieur à 0.2mm, on fait circuler l'eau lentement dans un bassin dont on racle ou aspire périodiquement les matériaux rassemblés au fond .

Dans la plupart des stations d'épuration, on effectue deux décantations, l'une sur les eaux usées du pré-traitement, l'autre après le traitement biologique, les boues formées contiennent une forte proportion de matières organiques (20 à 30 % des matières sèches), des matières grasses.(6 à 8 %) et de la cellulose (8 à 15 %) (KORMANIK, 1977) , ces boues présentent un aspect non homogène, elles sont généralement brunes et d'odeur désagréable (BRAME,1986) .

I-2-2-La filtration :

Comme pour la décantation, on peut effectuer la filtration sur les eaux brutes prétraitées puis sur les eaux traitées par voie biologique ou chimique, néanmoins la forte teneur en matières colloïdales et mucilage des eaux brutes rend difficile leur filtration sauf pour des filtres dont les mailles sont assez larges, de l'ordre du dixième de millimètre, ce qui est peu intéressant , par contre ce procédé est largement utilisé pour le traitement des boues (DUCHENE, 1990) .

I-3-Les traitements biologiques :

Ces traitements consistent en une consommation de la matière organique contenue dans les eaux usées et d'une partie des matières nutritives (azote et phosphore) par des microorganismes déjà présents dans ces eaux, et ce généralement en présence d'air ou d'oxygène, la croissance de la faune et de la flore donne lieu à des floes plus ou moins abondants qu'on éliminera par décantation ou filtration (VEDRY, 1975) .

I-3-1-Les boues activées :

Les eaux usées décantées sont aérées par des turbines agissant à la surface de l'eau ou par des rampes d'air comprimé ou d'oxygène ou d'air enrichi en oxygène au fond d'un bassin , après ce traitement les eaux sont à nouveau décantées .

Une partie des boues est renvoyée dans les bassins d'activation pour maintenir la population des microorganismes intervenant dans l'épuration, le reste des boues, appelé boues en excès, est soutiré pour subir un traitement, on peut prolonger le temps d'aération de façon à obtenir une minéralisation plus forte des boues, c'est le procédé Couramment employé de l'aération prolongée . la quantité des boues produites et d'autant plus importante que la charge organique (DBO en kg / m^3) est plus grande, mais le rendement se trouve alors diminué . la charge organique des eaux usées urbaines varie entre 0.15 et 0.35 $\text{kg DBO} / \text{m}^3$ (VEDRY, 1975) .

I-3-2-Les lits bactériens :

Ce procédé consiste à faire ruisseler les eaux usées décantées à travers une masse de pierres ou de matières plastiques présentant une grande surface et sur laquelle se développe un film bactérien (zooglyée) qui consomme les matières organiques contenues dans l'eau en présence de l'oxygène, de l'air, le film croit au fur et à mesure de la consommation des matières organiques et s'exfolie sous l'influence des gouttes d'eaux qui tombent sur le garnissage. L'eau épurée et décantée et une partie des boues est recyclée comme pour les boues activées (BRAME, 1986) .

I-3-3-Le lagunage :

Lorsque la topographie des lieux le permet et si le prix du terrain n'est pas prohibitif, on envoie l'eau usée prétraitée ou non dans un étang peu profond où la matière organique et les substances nutritives sont consommées par des algues grâce au processus de photosynthèse. Ce traitement extensif produit peu de boues car la charge est faible et la surface est si importante que la collecte des boues peut n'avoir lieu que tous les cinq ans (JAROSZ, 1985) .

I-4-Le traitement anaérobie de l'eau :

Dans le cas des eaux usées urbaines, on utilise essentiellement la fosse imhoff ou la fosse à double étage, qui consiste en une consommation des matières organiques par les microorganismes présents dans l'eau en absence d'air. Il se produit une fermentation méthanique dans une première fosse et on recueille ainsi les eaux épurées dans une seconde fosse placée sous la première pour qu'elles puissent décanter, ce traitement est de moins en moins utilisé car il est difficile à conduire et son mauvais fonctionnement peut avoir de graves inconvénients (odeurs nauséabondes, risques d'explosion, formation d'une croûte en surface etc....) en outre les quantités de gaz produites sont trop faibles pour qu'on puisse penser à les récupérer , on recueille les boues par soutirage et écrémage . (JAROSZ, 1985) .

I-5-Les traitements physico-chimiques :

I-5-1-La floculation :

Les eaux usées domestiques contiennent des matières en suspension de très petite dimension et des matières colloïdales pour lesquelles la décantation et la filtration posent des problèmes techniques difficiles à résoudre.

Certains produits minéraux ou organiques ont la propriété d'agglomérer ces fines particules en flocons plus facilement décantables, on utilise de plus en plus ce procédé dans les stations dont la charge varie au cours du temps, pour faire face aux périodes de pointes (stations de sport d'hiver ou au bord de la mer) .

Les sels de fer ou d'aluminium et la chaux sont couramment utilisés pour les eaux usées urbaines à des concentrations de l'ordre du décigramme par litre alors que les poly électrolytes naturels (alginates) ou de synthèse donnent de bons résultats pour des teneurs de l'ordre du milligramme par litre, le coût élevé de ces derniers conduit généralement à l'utilisation simultanée des agents de floculation organiques et minéraux. La présence des sels minéraux dans les boues augmente le volume et le poids, ceci aura évidemment une influence sur les traitements ultérieurs des boues (MATHIAN, 1980).

II-Le traitement des boues :

II-1-Définition:

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

Les boues subissent des traitements de déshydratation et de stabilisation avant d'être rejetées dans le milieu naturel ou réutilisées à des fins agricoles ou énergétiques

(BLONDEAU, 1985) .

II-2-Les objectifs du traitement des boues :

Les boues résiduelles en excès sont, au moment de leur extraction du système d'épuration des eaux, un produit :

- Peu concentré donc occupant un grand volume .
- Fermentescible du fait de la forte teneur en matières organiques .
- Qu'il est nécessaire d'extraire régulièrement de la plupart des types de stations d'épuration

Tableau 01 : Les opérations de traitement des boues (Duchêne, 1990)

Opération	But
Stabilisation	Limiter les évolutions ultérieures s'accompagnant de nuisances
Concentration	Eliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur
Homogénéisation	Donner au destinataire finale un produit connu et relativement constant
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquides
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux

II-3-La stabilisation des boues :

Ce mode de traitement consiste soit à forcer l'évolution des boues jusqu'à une minéralisation assez poussée, c'est la digestion soit en une interruption de la vie au sein des boues il s'agit de la stabilisation physico-chimique (BLONDEAU, 1985) .

II-3-1-La digestion des boues :

On peut stimuler la vie des microorganismes présents dans les boues par une aération qui favorise la minéralisation des matières organiques et la prolifération des organismes aérobies jusqu'à obtenir des boues à teneur non négligeable en oxygène et biologiquement stable.

La consommation d'énergie de ce procédé ne permet pas d'envisager son utilisation de manière systématique pour les boues d'origine urbaines.(ALEXANDRE, 1979) .

La digestion consiste en une décomposition de la matière organique à l'abri de l'air de façon à obtenir du méthane, sur le plan théorique cette opération est très séduisante car elle permet aux boues de se stabiliser, et elle est génératrice d'un gaz combustible, mais dans son application, elle pose plusieurs problèmes dont certains sont d'autant plus difficiles à résoudre que l'installation est petite, en effet lorsque les microorganismes ont dégradé la matière organique, la composition des boues a évolué et leur apport en substances actives pour les sols cultivés est amoindri, la qualité du gaz produit n'est pas constante, ce qui en limite l'utilisation, et enfin la digestion anaérobie des boues est très sensible aux micro polluants minéraux (métaux lourds) et organiques (détergent) .

II-3-2-L'épaississement des boues :

C'est le premier stade , le plus simple de réduction de volume des boues, les intérêts de l'épaississement sont multiples.

A capacité égale, augmentation du temps de séjour dans les cuves de stockage des digesteurs aérobies et anaérobies .

Amélioration de la sécurité d'exploitation, en particulier dans les installations d'eaux résiduaires urbaines, les boues des décanteurs primaires peuvent être pompées très liquide.

Amélioration de la production des dispositifs de déshydratation, lits de séchage, filtres sous vide, filtre presse, centrifugeuse, (DEGREMENT, 1972, THOMANN,1983) .

II-4-La déshydratation des boues :

II-4-1-Les lits de séchage :

Ce procédé est très largement utilisé en Europe dans les stations d'épuration de petite capacité, pour des raisons d'hygiène et afin de ne pas créer des odeurs désagréables, on utilise les lits de séchage pour des boues très minéralisées issues d'une station d'épuration totale ou d'un dispositif de digestion des boues .

On introduit la boue dans des bassins peu profonds contenant des graviers et du sable munis d'un système de drainage, la déshydratation des boues s'opère en fait de deux façons : d'une part, par infiltration de l'eau à travers le milieu filtrant et élimination par les drains et d'autre part, par évaporation, le rendement de ces lits de séchage dépend de la nature des boues et des conditions climatiques du lieu. La boue sèche ainsi obtenue est pelletée, elle contient plus de 50 % de matière sèche et peut être utilisée pour l'agriculture. Il arrive souvent qu'un début de végétation croisse au cours de séchage (JAMONET, 1987) .

II-5-La pasteurisation des boues :

La pasteurisation consiste à maintenir les boues par injection de vapeur à une température, de l'ordre de 80 °C pendant une demi-heure environ, les boues sont ainsi désinfectées mais non stérilisées, mais cela est suffisant pour leur utilisation agricole, par contre la stabilisation n'est pas parfaite et les risques de fermentation existent, les virus sont aussi éliminés par ce procédé (BOUTIN , 1982) .

II-5-1-Le traitement à la chaux :

La chaux est un hydroxyde de métal bivalent, elle a des propriétés flocculantes pour les boues, mais en outre, elle permet une désinfection de celle ci pour un pH de 11 environ . L'intérêt de cette stabilisation réside dans le fait que l'on apporte au moment de l'épandage un appoint en calcium qui peut être bénéfique pour la culture .

L'inconvénient majeur est le coût de ce traitement, il faut en effet environ 100 g de CaO par Kg de matière sèche, pour diminuer les frais, on ajoute souvent du chlorure ferrique qui améliore la floculation des boues et par conséquent, leur aptitude à la décantation ou à la filtration (WEBB L.J, 1984) .

III-propriétés des boues :

III-1-Propriétés physiques des boues :

Les boues d'origine primaires ou secondaire se présentent sous forme d'un liquide contenant des particules homogènes en suspension leur volume représente de 0.05 à 0.5 % du volume d'eau traitée pour les boues fraîches alors qu'il est légèrement inférieur pour les boues activées et autres procédés biologiques, la floculation de l'eau augmente le volume des boues surtout leur poids de 10 % environ.

La couleur de boues varie entre le brun et le gris et leur odeur et souvent très désagréable car ce sont des produits facilement fermentescibles et il y a un début de décomposition pour leur traitement ultérieur, on a besoin de connaître plusieurs paramètres qui définiront leur aptitude à la déshydratation et à la filtration (JAROSZ , 1985).

III-1-1-La teneur en matière sèche :

Il s'agit de mesurer le poids du résidu sec après chauffage à (105 °C) jusqu'au poids constant, on l'exprime généralement en pourcentage, celui ci varie de 3 à 8 % de matière sèche
(JAROZ, 1985).

III-1-2-la teneur en matières volatiles :

On mesure cette teneur par la différence entre le poids de boues sèches (105°C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550 °C, cette teneur varie de 60 à 85 % des matières sèches .(DJAMONET, 1987).

III-1-3-la teneur en eau interstitielle :

L'eau contenue dans la boue se présente sous deux formes :

- Eau libre qui s'élimine facilement par filtration ou décantation .
- Eau liée contenue dans les molécules chimiques, les substances colloïdales et les cellules de matières organiques qui ne peut s'éliminer que par la chaleur

On mesure la proportion entre l'eau liée et l'eau libre par la perte de poids à température constante en fonction du temps (DEGREMENT, 1972) .

III-1-4-La viscosité :

Les boues ne sont pas des liquides newtonien, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement (viscosité de BINGHAM), cette viscosité permet de définir leurs caractères thixotropiques (aptitude à se prendre en masse au repos et devenir fluide après brassage) qui est important pour leur transport (A.F.E.E , 1974).

III-1-5-La charge spécifique :

Ce paramètre permet de mesurer l'aptitude à la décantation des boues, il est exprimé en ($\text{Kg} / \text{m}^2 / \text{j}$) . C'est la quantité de la matière sèche décantée sur l'unité de surface, cette charge dépend de la teneur en matières volatiles .(A.F.E.E, 1974).

III-1-6-La résistance spécifique :

Il s'agit de mesurer l'aptitude à la filtration des boues sous une pression donnée, selon MATHIAN (1986), cette résistance s'exprime en m / Kg ou en Sec^2 / g (A.F.E.E, 1974).

III-1-7-La compressibilité :

Lorsqu'on fait croître la pression au dessus d'un filtre, on obtient un écrasement du gâteau et une augmentation de la résistance à la filtration, la représentation logarithmique de la résistance spécifique en fonction de la pression donne une droite qui permet de déterminer le coefficient S de compressibilité, lorsque la pression augmente et atteint des valeurs de l'ordre de 10 bars, la filtration de l'eau contenue dans les boues est pratiquement bloquée, on atteint alors la siccité limite .(DEGREMENT,1978) .

III-1-8-Les pourvoires calorifiques :

Les teneurs en matières organiques des boues leur donne une aptitude à la combustion non négligeable qui permet de les incinérer . (A.F.E.E , 1974).

III-2-Propriétés chimiques :

III-2-1-Les éléments nutritifs :

Les boues contiennent certains éléments utiles à la croissance des plantes, il s'agit des teneurs en azote total, phosphore (exprimé en P_2O_5) potassium (exprimé en K_2O) et le Mg, il s'agit des substances qui favorisent la croissance des plantes et donc qui ont une très grande importance pour l'utilisation agricole des boues, soit par épandage direct, soit par compostage avec les ordures ménagères .

Tableau 02:caractéristiques agronomiques des boues résiduaires urbaine (primaires + activées en % sur les matières sèches) (BOUTIN, 1982)

Eléments	Azote	Phosphore	Potassium	Matière organique
Boues fraîche	3.5 / 4.5	2 / 3	0.5/ 1	60 / 80
Boues digérées	2 / 2.5	1 / 2	0.2 / 0.5	40 / 65

Les quantités variants d'une boue à l'autre selon l'origine et le mode traitement .

III-2-2-Les micro polluants :

Les boues contiennent, en faible quantité, de nombreux produits qui peuvent être soit toxiques pour les plantes (le bore, par exemple), soit présenter des inconvénients ou même des dangers pour l'homme par l'intermédiaire des plantes (le cadmium par exemple).

De nombreuses études ont été effectuées pour évaluer les risques tant au laboratoire que sur le terrain .

III-2-2-1-Les micro polluants organiques :

Sont des substances qui peuvent avoir une action néfaste pour le traitement des boues ou pour leur utilisation en agriculture. Il s'agit généralement des produits chimiques de synthèse qui sont utilisées dans la vie courante et qui se retrouvent dans les eaux usées domestiques . on trouve en particulier des teneurs importantes en détergents et des médicaments (en particulier des antibiotiques qui agissent sur la flore des boues) .

III-2-2-2-Les micro polluants minéraux :

Il s'agit essentiellement de ce que l'on nomme dans les littératures française et anglo- saxonne des métaux lourds, qui ont été très largement étudiés en laboratoire et sur le terrain pour leur rôle dans le développement des cultures irriguées par des boues liquides ou non.

Certains de ces éléments se trouvent naturellement dans le sol comme le cuivre, le fer , le zinc, ect, et sont indispensables à la croissance des plantes, alors que d'autres sont apportés par l'homme et peuvent avoir des conséquences fâcheuses.

III-2-2-2-1-Les éléments essentiels pour la vie des plantes :

a)-Le cuivre :

Est présent dans les plantes (de 5 à 220 p.p.m). On le trouve dans le sol sous forme de Cu^{++} ou Cu^+ ou complexé par des oxydes métalliques, lorsqu'il est solubilisé dans des proportions importante(plus de 50 p.p.m dans le sol) . il devient dangereux pour certaines plantes, la consommation de fourrage à forte teneur en cuivre peut être nocive pour le bétail .

b)-Le Zinc :

Comme le cuivre, il est nécessaire à la vie des plantes dans lesquelles on le trouve

en grande quantité, leur toxicité est très faible, il faut atteindre 1000 p.p.m dans le fourrage pour observer les effets sur les animaux mais à partir de 500 p.p.m la récolte du fourrage n'est plus valable économiquement (le rendement baisse fortement) la présence d'autres ions comme le Nickel, et le Cuivre à un effet synergique sur la toxicité du zinc .

c)-Le fer et le Manganèse :

Ils sont présent dans tous les sols et ils ont une action enzymatique importante sur les plantes, leur seuil de toxicité ne semble pas avoir été trouvé mais, lorsque le pH est trop faible ou trop fort, il se fait un blocage pour les autres ions .

d)-Le Bore :

N'est pas un métal mais c'est un élément essentiel pour la croissance des plantes, bien qu'on ne connaisse pas exactement le mécanisme de son action, par contre, il est toxique pour les plantes à des faibles doses de l'ordre du p.p.m or, le bore est souvent utilisé dans les ménages sous forme de borates ou perborates dans les lessives qui se trouvent dans les boues .

e)-Le molybdène :

Est nécessaire aux plantes en faibles doses (0.1 à 1 p.p.m) mais dès que les plantes contiennent 5 p.p.m de molybdène, elles deviennent toxiques pour les ruminants, on assiste à une carence des animaux en cuivre .

III-2-3-2-2-Les éléments toxiques :

Ces éléments ne sont pas utilisés par la plante pour son développement mais peuvent s'y retrouver par accumulation .

a)-L'aluminium :

Est peu soluble au pH proche de la neutralité et sa teneur dans les plantes est très variable, elle devient importante pour les plantes qui poussent en milieu humide. La toxicité de l'aluminium n'a pas été mise en évidence ni pour les mammifères ni pour l'homme .

b)-L'arsenic :

Est aussi toxique pour les plantes que pour les animaux et les hommes à l'état de sels

(arséniate) mais il semble que sous forme organique il soit moins dangereux, les apports de cet élément proviennent surtout des pesticides et très peu de boues .

c)-Le cadmium :

Est apporté dans le sol par l'atmosphère (pluie), le lessivage des routes et les eaux usées, où les boues contenant des effluents de galvanoplastie. C'est certainement le micro polluant le plus étudié dans le cas de l'épandage des boues, car il est assimilé par les plantes et

accumulé par les mammifères et par l'homme (la quantité tolérable pour l'homme et de 0.3 p.p.m par jours) le cadmium n'a pas une toxicité importante pour les plantes mais il s'accumule généralement dans les parties vertes (surtout les feuilles) et les quantités emmagasinées dépendent du pH du sol .

e)-Le chrome:

Est considéré comme un toxique pour l'homme et les animaux supérieurs, mais pour ces derniers, la carence en chrome peut avoir des effets désastreux. On trouve souvent du chrome dans les boues mais il semble qu'il se transforme dans le sol en éléments peu solubles donc peu assimilables, des essais d'addition de fortes quantités de chrome sur le sol ont permis de constater que celui ci ne présentait pas d'inconvénients pour le rendement des plantes .

f)-Le mercure :

Est un toxique important pour l'homme et les animaux, on le retrouve dans le sol provenant d'application d'insecticides ou de fongicides ou par l'intermédiaire des eaux de pluies; de ruissellement et par l'épandage des boues sur le sol, lorsque le pH est supérieur à 6.5 le mercure apparaît sous forme d'hydroxydes ou de carbonates peu solubles, le mercure peut amener des perturbations au développement de la plante mais le principale danger est son introduction dans la chaîne alimentaire de l'homme, car il est bio accumulé par les animaux, or il ne semble pas qu'il ait d'accumulation préférentielle dans une partie de la plante comme on la vue pour le cadmium .

g)-Le Nickel :

Présent dans les fumées industrielles et dans les eaux usées de galvanoplastie, se retrouve dans le sol par les eaux de pluie ou par l'épandage des eaux usées ou de boues, l'action du nickel seul sur les plantes est connue, il semble qu'il suffie d'une concentration de 1 p.p.m pour perturber la croissance de la plante, par contre la toxicité du nickel vis à vis des mammifères se révèle être relativement faible par rapport à d'autres micro polluants .

h)-Le plomb :

Est un toxique pour les animaux et son introduction dans la chaîne alimentaire, avec le risque d'accumulation, représente un danger, par contre la présence du plomb dans

le sol conduit à une accumulation sur la couche superficielle

.

En résumé, on peut indiquer que certains micro polluants sont nocifs pour les plantes soit qu'il fassent baisser le rendement et que par bio accumulation, ils peuvent être dangereux pour l'homme, leur présence dans les boues constitue rarement la seule source mais c'est un risque supplémentaire pour l'homme au niveau de la production agricole .

III-2-4-Les vitamines :

L'homme consomme de nombreuses vitamines qui sont contenues dans ses aliments ou dans ces médicaments qu'il absorbe mais l'organisme humain n'en utilise qu'une partie, le reste est alors éliminé dans les urines et matières fécales et se retrouve dans les eaux usées .

III-3-Les propriétés biologiques :

Les eaux usées contiennent une flore et une faune variée qu'on retrouve en partie dans les boues. le traitement biologique des eaux usées en modifie la composition biologique par la multiplication de certaines espèces au dépend d'autres .

III-3-1-Les bactéries :

On dénombre de très nombreux types de bactéries dans les boues, une partie de celle – ci est d'origine fécale et certaines proviennent de porteurs de germe, elles peuvent

donc être pathogènes . on peut les classé en quatre classes :

-Aérobies strictes qui ne se développent qu'en présence d'air, elles sont nombreuses dans les boues activées .

-Aérobie facultatives qui peuvent se développer en anaérobiose par consommation de l'oxygène contenue dans la matière organique (exemple aéromonas) .

-Anaérobie facultatives qui peuvent supporter la présence de l'air mais ne se développent que grâce à des processus anaérobies (exemple lactobacillus) .

-Anaérobie stricte dont le développement ne s'effectue qu'en anaérobiose (exemple : clostridium) .

Le traitement biologique des boues favorise le développement de certaines bactéries au détriment des autres, et leur mise en dépôt permet aux organismes anaérobies de se développer . les microorganismes pathogènes se retrouvent dans les boues et dans les effluents, il faut donc veiller à les éliminer de ces deux éléments .

III-3-2-Les virus :

on trouve des entérovirus, des adénovirus, et des réovirus adsorbés sur les matières organiques solides des boues dans une proportion non négligeable sur environ 30% des échantillons de boues, leur élimination n'est pas facile à mener à bien mais selon l'utilisation ultérieure des boues, il faut s'en préoccuper.

III-3-3-Les parasites :

On trouve de très nombreux parasites dans les boues d'origine fécale ou tellurique. Ce sont des œufs d'ascaris ou de trichocéphales, de ténia, ou des formes enkystées de gardiia ou trichomonas, leur élimination est d'autant plus difficile que ces parasites prennent une forme végétative dans des conditions qui leurs sont hostiles, alors qu'ils se développent lorsqu' ils se retrouvent dans les animaux à sang chaud ou chez l'homme.

III-3-4-Les champignons :

Ce sont essentiellement les levures et les saprophytes normalement présents dans l'air, ils ne sont généralement pas pathogènes pour les animaux et les hommes sauf pour certains qui peuvent le devenir lorsque les conditions sont défavorables, en particulier opportunistic fungi, par contre, certaines moisissures sont phytopathogènes et doivent être éliminées avant l'utilisation des boues en agriculture. Comme par exemple le fusarium ou les dématiés .

III-3-5-Les algues :

On en trouve peu dans les boues primaires et secondaires, par contre dans le lagunage naturel, une grande partie de boues est constituée de détritits d'algues .

III-3-6-La macro faune :

On trouve dans les boues activées des vers, des larves , d'insectes, des crustacés et même par fois de petites araignées .

IV-Les caractéristiques des boues valorisables :

L'analyse des boues obtenues à la sortie des stations d'épurations montre que l'un des constituants majeurs est l'eau (94 à 98 %) par tonne de matière sèche une boue contient à peu près autant de matières organiques (carbone) qu'un fumier .

En dehors de l'introduction de matière organique, substances humiques, ou humifères, L'intérêt de l'utilisation des boues réside également dans l'apport de fertilisants, bien qu'elles soient assez pauvres en potasse .

Il est à noter que le mode de traitement des eaux et des boues influenceront nettement sur l'ensemble de ces paramètres et que les teneurs en éléments fertilisants et en matières organiques sont extrêmement variables .

Tableau 03 composition des boues en fonction du type de traitement (PARENT, 1976)

Nature des boues	B1	B2	B3	B4	B5
PH	12.4	6.8	5.85	14	6.5
C / N	11.2	15.3	10.4	12.3	8.7
H2O en %	75	72	95.5	61.5	5.5
M.O	38.69	63.8	57.2	-	52.1
C	22.7	38.4	38.8	121.6	30.5
Azote	2.0	2.5	3.5	1.0	3.5
P2O5	-	3.0	5.8	1.3	2.2
K2O	-	0.17	-	0.09	0.2
Ca O	25.5	5.4	9.7	33.7	7.5

B1 : boues déshydratés sous vides et floculées à la chaux et au chlorures ferrique

B2 : boues centrifugées après au poly électrolyte cationique

B3 : boues provenant directement des décanteurs primaires et secondaires .

B4 : boues traitées au chlorure ferrique et à la chaux puis déshydratées par filtre presse.

B5 : boues digérées déshydratées

V-Contraintes limitant l'utilisation des boues en agriculture :

Afin d'éviter les problèmes pédologiques et agronomiques entraînant une baisse de rendement, le domaine d'emploi d'une boue est déterminé en fonction des risques qu'elle peut présenté .

V-1-Les pathogènes :

Les principale maladies transmises par les effluents sont les suivantes : schistosomiase, ankylostomiase, ascaridiose, toeniadysenterie, choléra, dysenterie bacillaire, poliomyélite, hépatite infectieuse .

La plupart des traitements que subissent les boues provoquent simplement une chute des populations pathogènes mais très rarement leur disparition complète. Il résulte de ceci que les boues, même après digestion, ne doivent pas être remise en contact direct avec les végétaux susceptible d'être consommés crus .

Les organismes pathogènes qui ont résisté à l'épuration n'ont pas toute la faculté de survivre sur ou dans le sol .

Dans le sol les germes sont dans un milieu qui leur est très favorable (car froid et sec; de plus ils y sont exposées aux radiations solaires) .

En outre, ils sont en compétition avec les microorganismes qui s'adaptent bien au milieu et se développent rapidement . le problème des pathogènes est en effet difficile à résoudre. Certains parasites par exemple restent plusieurs années dans le sol . ils sont d'autant plus difficiles à éliminer qu'ils prennent une forme enkystée dans les conditions défavorables alors qu'ils se développent lorsqu'ils se retrouvent dans les animaux à sang chaud ou chez l'homme .

V-2-La toxicité :

La toxicité se manifeste dans le végétale lui - même comme résultat de l'absorption et de l'accumulation de certaines substances contenue dans l'eau d'irrigation ou dans la boues . la présence de métaux lourds dans la boues peut également constituer un danger qui pourrait provenir de l'accumulation de ces derniers dans les cultures (effet de concentration) et leur transmission aux consommateurs .

V-3-Les micro polluants organiques :

Ce sont des substances qui peuvent avoir une action néfaste pour le traitement des boues, ou pour leur utilisation en agriculture . il s'agit généralement, de produits organiques de synthèse qui sont utilisés dans la vie courante et qui se trouve dans des eaux usées domestiques, les détergents, largement utilisés dans les ménages, présentent plusieurs inconvénients pour la boue:

La présence de tensioactifs perturbe la digestion anaérobie des boues .

Ils influent sur les propriétés d'échange d'ions du sol

Ils ont enfin une action néfaste sur les microorganismes et sur les plantes .

Les poly électrolytes, fréquemment utilisées pour la déshydratation des boues, présentent des propriétés électrochimiques qui pourraient influencer sur la physico-chimie du sol et des plantes .

D'autres éléments tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome, l'aluminium, le nickel, et l'arsenic ne sont pas utiles dans le sol et leur concentration ne doit pas dépasser certaines limites, car ils contamineraient les plantes. Le cadmium, le plomb et le mercure sont également tous toxiques pour les organismes animaux qu'ils affectent à travers la chaîne alimentaire .

VI-Les autres applications agricoles :

VI-1-L'épandage en forêt :

Les forêts ne sont pas des cultures à proprement parler et leurs produits (bois, feuillage) ne sont généralement pas introduit dans la chaîne alimentaire des mammifères et de l'homme et les besoins en eau sont différents de ceux des plantes. De nombreux documents très généraux sur les boues indiquent l'utilisation pour l'irrigation et l'amendement des forêts sans donner des résultats .

Les besoins en Azote et en phosphore des plantes varient de l'une à l'autre et l'utilisation des boues parfois pauvres en phosphore peut ne pas convenir, de même que la teneur en certains oligo-éléments aura des effets bénéfiques ou non selon les plantes considérées .

L'utilisation des plantes présente aussi une grande importance, l'apport métaux lourds ou la présence de microorganismes pathogènes ne sont pas gênants pour l'épandage des boues en forêt mais ils deviennent dangereux pour les cultures vivrières. Il faut prévoir les phénomènes d'accumulation et penser par exemple que la pâture est un maillon de la chaîne alimentaire et qu'il peut y avoir concentration de certains micro polluants à chaque stade .

Boues → herbe → animal → homme

VI-2-Valorisation des boues en milieu forestier et en milieu agricole :

Ces dernières années, un intérêt particulier a été marqué pour les études concernant la revalorisation des sous produits issus des stations d'épuration urbaines

L'aspect positif d'épandage des boues résiduelles a été démontré dans des nombreuses études notamment en France et au Canada. ainsi au Québec.(COUILLARD, 1986), en utilisant de la boue anaérobie liquide, à constater que des semis de Mélèze se comporte d' une manière satisfaisante sur un substrat pauvre que du sable et que la production de la biomasse croît de 1140 %.après quatre mois d'essais en serre .

Au Canada, (GAGNON, 1972), en appliquant une dose de 560 Kg / Ha d'une boue digérée, à montré qu'une plantation d'épinette blanche (*Picea glauca*) présentait, six ans après épandage, un gain de croissance en hauteur de près de 40 %, (COUILLAD 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 produisant le meilleur résultat, ils ont, en outre, pu mettre en évidence qu'un grand nombre d'applications de petites doses est préférable à un plus petit nombre d'application de doses plus grandes, les quantités utilisées durant l'expérience varient de 605 Kg / Ha à 10890 Kg / Ha en boue sèche .

(LE TACON et al , 1978) rapportent que l'élimination de la phase maturation diminue le taux de survie de plantation. Les plants survivants souffrent de nécrose, chloroses 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'air 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 (1000 t/ ha) .

(LE TACON et al, 1988) ont également mis en relief l'augmentation de la croissance du frêne, plante en intercalaire avec l'aulne blanc, suite à l'épandage de boues résiduelles.

Le climat particulier de la région et les conditions spécifiques de la conduite des pépinières nous ont semblé être des facteurs intéressants, pouvant induire des comportements positifs quant aux paramètres étudiés.

L'épandage d'eaux usées traitées et des boues résiduelles durant deux années sur un sol sableux entraîne des variations importantes de la composition chimique du sol. On enregistre une augmentation de la teneur en sels, en éléments fertilisants (N, P, K), et en certains éléments traces (Cu, Pb, Zn).

I- Définition de la culture hors sol et substrat de culture :

I-1- définition de la culture hors sol :

Au sens strict, la culture hors sol est la culture dans un milieu racinaire qui n'est pas le sol naturel, mais un milieu reconstitué et isolé du sol, on parle souvent des cultures sur substrat, car ce milieu reconstitué repose sur l'adoption d'un matériau physique stable. Le substrat parfois d'origine manufacturé et industriel, parfois d'origine naturelle.

I-2- Définition de substrat de culture :

D'après (BLANC 1987), le terme substrat désigne tout matériau naturel ou artificiel qui, placé en conteneur pur ou en mélange, permet l'ancrage du système racinaire et joue vis à vis de la plante le rôle de support. Il doit présenter des caractéristiques compatibles avec l'activité métabolique des racines. Il intervient à des degrés divers dans l'alimentation hydrique ou minérale de la plante.

Le substrat est un support physique de la plante, constitué d'une partie solide (aérateur + rétenteur) et d'une partie liquide, air et eau, les composants de la partie solide combinés à des proportions étudiées, permettent d'avoir les propriétés physiques idéales, compatibles avec un bon développement racinaire (ARGILIER 1991).

Le problème majeur qui se pose en Algérie est la tendance générale à utiliser des substrats locaux dont les caractéristiques ne sont pas toujours optimales.

d'après (FELLAH 1979) le mélange utilisé le plus souvent dans nos pépinières forestières est formé à partir de la terre végétale prise sur place (50%) sable d'oued (30%) et terreaux (20%), ces substrats locaux sont plus économiques certes, mais présentent des propriétés physiques et chimiques peu intéressantes à savoir :

- Une capacité de rétention en eau faible.
- Une porosité faible.
- Une perméabilité faible qui entrave l'aération du substrat.
- Une diminution en éléments nutritifs.
- Une mauvaise cohésion de la motte due à une mauvaise stabilité racinaire.

II- Propriétés physiques chimiques et physico-chimiques des substrat de culture en conteneurs :

II-1-Propriétés physiques :

Les qualités physiques sont très importantes, un substrat doit être perméable tout en ayant une bonne rétention en eau, doit conserver sa structure dans le temps (HENRY 1973).

Un milieu physique favorable constitue un des facteurs essentiels de la valeur d'un mélange, car il conditionne la plus ou moins grande facilité de développement de l'enracinement et de la cadence des arrosages surtout dans les régions où l'eau est un facteur limitant, si le milieu chimique peut être corrigé par l'apport des fertilisants pour satisfaire les besoins de la plante, le milieu physique, ne peut l'être, car il s'agit d'un caractère déterminé lors de la fabrication d'un mélange (CHOLLET 1972).

Pour définir les propriétés physiques d'un mélange il est nécessaire de définir deux notions fondamentales à savoir la texture, (composition élémentaire lorsque les agrégats sont détruits), la structure (manière dont ces éléments sont groupés en agrégats).

C'est à partir de ces deux notions qu'on peut avoir une idée sur l'importance des trois phases (solide, liquide, gazeuse) dont il faut tenir compte pour avoir une idée sur la qualité d'un substrat, lorsque le substrat est porté à sa capacité maximale de rétention en eau, les trois phases ont approximativement les valeurs suivantes :

- Phase solide – 25 %
- Phase gazeuse – 32 %
- Phase liquide – 43 %

On voit donc l'importance de la phase liquide et de la phase gazeuse, qui traduisent les besoins en eau et en oxygène des racines.

de ce fait le substrat doit avoir :

- Une bonne capacité de rétention en eau
- Une bonne capacité pour l'air
- Une bonne stabilité structurale, et surtout une bonne stabilité dimensionnelle, ce dernier Caractère est souvent oublié (ANSTETT, 1976) .

si l'un des ces caractères fait défaut dans le mélange, il peut y avoir des effets néfastes sur la croissance et le développement du plant; par exemple, pour un substrat à faible coefficient de filtration, les arrosages excessifs peuvent entraîner :

-Une réduction de la respiration du système racinaire par inhibition du substrat (à moins que le végétal n'y soit adapté).

-Par excès d'eau, le CO₂ émis par les racines lors de la respiration ne s'évacue, et se dissout.

-Altération de la structure de la couche superficielle du mélange qui joue un rôle important dans les échanges gazeux avec l'atmosphère, donc pour caractériser les propriétés physiques du mélange, il est bon de déterminer :

II-1-1-La structure :

La structure d'un sol est le mode d'assemblage, à un moment donné, de ses constituants solides (SOLTNER), aussi, on peut définir la structure d'un horizon comme étant la façon selon laquelle s'arrangent naturellement et durablement les particules élémentaires (sables, limons, argiles) matières organiques, en formant ou non des volumes élémentaires macroscopiques, appelés agrégats « éléments structuraux » ou « unités structurales ».

La stabilité structurale dépend de la teneur en argile et de la matière organique des sols . le complexe argilo –humique joue un rôle structural, ce rôle est plus ou moins important selon les teneurs en eau du sol et varie en fonction du type d'argile minéralogique (HENESAL 1980).

La matière organique augmente la stabilité des agrégats (RUELLON et al 1993).

Une valeur seuil est définie par le rapport matière organique sur argile (sens granulométrique) (MONIER et STINGEL 1982).

Une mauvaise structure peut donc empêché l'écoulement des eaux dans le sol, les échanges gazeux entre le sol et l'atmosphère .

Une bonne perméabilité et une bonne porosité assurent une bonne circulation de l'air et de l'eau (échanges gazeux) donc une bonne alimentation de la plante .

Une bonne structure (structure grumeleuse) va assuré une grande facilité de circulation d'eau, donc laisser s'écouler l'excès .

Assurer une bonne aération des racines, au microbes aérobies. Une bonne germination, pénétration bonne et profonde des racines . et une bonne exploration maximale par les racines des ressources nutritives du sol . (SOLTNER, 2000).

II-1-1-1-Les conséquences de la structure :

II-1-1-1-1-La porosité :

Elle représente l'ensemble des vides aménagés entre les particules du sol. Elle peut être calculé à partir des valeurs de la densité réelle et de la densité apparente par la formule :

$$P \% = \frac{(1 - \text{densité apparente})}{\text{Densité réelle}} \times 100 \quad (\text{DENIS BAIZE 2000}).$$

Selon, (DENIS BAIZE 2000) une faible porosité signifie une forte densité apparente, sera un indice de tassement artificiel, un horizon à faible porosité et surtout à faible macro porosité, aura toutes les chances d'être un obstacle à la percolation de l'eau dans le sol et constituer un plancher responsable d'un engorgement.

II-1-1-1-2-La texture :

Elle est déterminé par une analyse granulométrique, la résistance à la pénétration (à l'aide d'un pénétromètre) car la croissance des végétaux est très influencé par la résistance mécanique que les particules solides du substrat opposent à la pénétration des racines (CHOLLET, 1972).

Des récentes études menées au Québec ont révélés que les concentrations des éléments traces métalliques dans le sol varient selon la texture de ce dernier :

Elles sont les plus élevées dans les argiles, puis dans les limons argileux, les limons et les sables (WEBBER et SING, 1999), de petites quantités de cadmium on été prélevées par les plantes beaucoup plus au niveau des sols à texture légère que dans les sols à texture lourde.

II-2-Les propriétés physico-chimiques :

Pour avoir des indications très utiles sur les propriétés physico-chimiques, plusieurs indices sont à considérés, dont les plus importants sont : le pH, le rapport C/ N, qui est la seule valeur bien connue jusqu'à ce jour, et reflète à la fois l'azote disponible dans le sol et surtout l'activité biologique de ce sol, c'est à dire l'intensité du cycle de l'Azote (EVERS, 1961)

II-2-1-Le pH :

La concentration en ions hydrogène H^+ du milieu détermine sa réaction mesurée par le pH.

Le pH eau s'obtient en mesurant la concentration en ions H^+ dans la phase liquide du sol ou du substrat .

Le pH optimal en pépinière dépendra bien sur des végétaux cultivés, la réaction du sol ayant une grande influence sur la disponibilité des divers ions minéraux, dont la plante a besoin pour sa croissance .(FOUCARD, 1994) .

Un pH bas, inférieur à 5, limite la croissance de la majorité des plantes de pépinières, induisant les symptômes de carences en Calcium, à l'exception des plantes calcifuges dites « de terre bruyère» qui exigent un milieu acide sans calcaire .

Un pH élevé supérieur à 8, est également préjudiciable à la croissance d'un grand nombre de végétaux entraînant une mauvaise assimilation de certains éléments (dont le Magnésium) et surtout le fer, avec comme conséquence, les symptômes bien connus de la chlorose ferrique (FOUCARD, 1994).

D'après (BENSEGHIR, 1996), le substrat doit présenté un pH compris entre 5 et 8, en dehors de ces limites, le plant sera confronté à des problèmes de nutrition minérale .

Le pH à une incidence sur la facilité du plant à se nourrir, il influe aussi sur la contamination par divers champignons (à l'origine de la fente de semis par exemple) trop acide, il peut être à l'origine de brûlures des racines (FALCONNET ET AL 1992).

Le pH peut influencer d'une façon très marquée l'assimilabilité et par suite, l'absorption des éléments traces par les plantes (LOUE, 1986).

Ces métaux lourds sont d'autant plus solidement liés et par conséquent moins mobiles et disponibles que le pH est élevé .

Un pH voisin de 7 est souhaitable, est peut convenir à toutes espèces (NETRO, 1951).

L'augmentation du pH réduit la solubilité et l'absorption de l'Aluminium, le Cuivre, le Cobalt, le Zinc, le fer et plus particulièrement le Manganèse.

Tableau 04 :Exemple de pH (H₂O) des principaux matériaux de base pour substrat (LEMAIRE et al, 1990)

Substrats	pH H ₂ O
Matériaux organiques	
Tourbe blonde	4.5
Fibres végétale	4.5
Tourbe brune	5
Ecorce de pin fraîche	5.1
Compost urbains	6.5
Ecorces des feuillus compostées	7.5
Matériaux minéraux	5 à 7.5
Terre argilo limoneuse	6 à 8
Sable	6.9
Perlite	7.5
Laine de roche	7.5
Argile expansée	8
Vermiculite fine	8.7
Matières plastique	2.8 à 7.9

L'élévation du pH (calcaire) diminue l'assimilabilité du phosphore (devient insoluble), de même le calcaire bloque la minéralisation de la matière organique et donc diminue la disponibilité en éléments nutritifs pour les plantes .

Dans les sols acides, il peut y avoir une libération de l'Aluminium qui est toxique pour les plantes.

Les symptômes de carences ou excès en éléments minéraux, la non satisfaction de la plante vis à vis de sa nutrition, va ralentir sa croissance ou perturbe son développement.

A l'extrême, tout excès ou carence peut provoquer des symptômes parfaitement visibles utiles pour le diagnostic .

II-2-2-Le rapport C / N :

Ce rapport entre le carbone totale et l'Azote totale, mesuré sur un matériau organique, indique le degré d'évolution de la matière organique et son degré de résistance à la dégradation microbienne.

Ce rapport donne une idée très juste de la vie biologique du sol et permet en conséquence d'en apprécier les propriétés physiques.

Utilisé , depuis longtemps, par les forestiers pour caractériser les matières organiques présentes dans le sol , mais également les apports et restitutions organiques, tel que fumier, paille, composte, boues d'épuration.

D'après BONNEAU (1995), il est admis qu'à partir du moment où les produits de transformation de litières ont atteint un rapport C / N de 25 environ, il y a équilibre entre la libération de l'azote par minéralisation et la consommation par les microorganismes transformateurs de l'azote libéré (réorganisation), lorsque le rapport C / N devient inférieur à 25, la libération d'ammonium et de nitrates l'emporte sur la réorganisation, et l'alimentation azotée des arbres devient possible .

Un rapport C / N bas de l'ensemble de l'épisolum humifère traduit à la fois une évolution rapide des litières « turn-over » rapide et de bonne possibilité d'alimentation des arbres en azote.

Tableau 05 Rapport : C / N de différente matière organiques (d'après F. LEMAIRE 1990)

Matière organique	C / N
Boue de station d'épuration	11
Compost urbain	14
Fumier de championnière	19
Tourbe brune	20 à 25
Fumier d'ovin	23
Fumier de bovin	28
Tourbe blonde	40 à 60
Ecore de pin maritime fraîche	92
Ecorce de pin sylvestre compostée	300

II-2-3-La capacité d'échange cationique (C.E.C) :

Elle est déterminée comme le degré ou la possibilité d'un substrat de stocker des éléments nutritifs (DUCHAUFOUR, 1977), ces éléments sont une réserve minérale pour la plante, la CEC s'exprime en milliéquivalents par litre pour les substrats (meq /L) .

D'où l'intérêt d'utiliser en culture hors sol un substrat ayant une CEC élevée, qui pourra ainsi mettre à la disposition de la plante les éléments au fur et à mesure de ses besoins notamment, tant que l'on ne connaîtra pas parfaitement les rythmes d'absorption des éléments minéraux (FOUCARD, 1994) .

On peut dire q'un matériau est chimiquement actif si sa CEC est supérieure à 100 meq /L (FOUCARD, 1994) .

Un substrat à faible CEC (tourbe, terre,) pourra en revanche stocker les éléments fertilisants qu'on lui apporte, en effet, les substrats à forte CEC perdent peu d'éléments par lessivage, les risques d'excès de salinité sont donc plus limités . On estime qu'un sol ayant une CEC élevée aura tendance à immobiliser les métaux lourds et à diminuer ainsi leur disponibilité .

Selon (CONTENIE et al, 1976), le contact de la solution d'équilibre avec les particules colloïdales du sol, donne lieux aux phénomènes connus d'adsorption et d'échange d'ions ainsi qu'à la formation de complexes par liaison d'ions libres avec des groupements actifs des colloïdes .

Il s'en suit, que les activités ioniques régnant dans la zone d'influence des colloïdes peuvent être supérieures à celles dans la solution non influencée .
l'adsorption représente une possibilité de stockage des éléments.

La concentration maximale d'éléments traces métalliques qu'un sol peut contenir devrait être fonction de sa capacité d'échange cationique, c'est à dire sa capacité de retenir les ions de métaux lourds (WEBER et SING, 1999).

Selon le même auteur, la capacité d'échange cationique augmente avec la teneur en argile du sol, il est logique donc que les concentrations maximales des métaux soient plus élevées dans le cas des sols à texture fine (comme l'argile et le limon-argileux) que dans celui des sols à texture grossière comme le sable .

II-2-4-La conductivité électrique (CE) (salinité) :

Lorsque la concentration saline de la solution aqueuse d'un sol ou d'un substrat est trop élevée, les racines se développent mal et la croissance de la plante est ralentie, on aboutit même dans les cas graves, au dépérissement des plantes .

DENISE 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 06 : classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait de patte saturé et de la somme des anions (BAIZE, 2000)

Classe	Désignation	Conductivités électriques en mmhos / cm à 25 c°	Somme des anions (mé / 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

II-2-5-La matière organique :

La matière organique contribue et facilite l'obtention d'un état structural stable (MOREL, 1996) par conséquent, il y'aurait une meilleure porosité, une bonne perméabilité, une meilleure aération et un meilleur réchauffement du sol (MUSTIN, 1987) comme elle joue un rôle important dans la rétention de l'eau (JAUNES et JACOBSEN, 2001), et sous l'action des microorganismes du sol, elle libère les éléments minéraux qui sont indispensables à la nutrition et au développement des plants (BOLLAG et al, 1998).

Elle joue un rôle dans l'adsorption et la rétention de l'eau .

La matière organique joue un rôle important dans la mobilité et la disponibilité des métaux lourds dans le sol (SING et al, 1997), dans la fraction organique vivante, on trouve des polymères de type hydrates de carbone bien caractérisés, amidon, cellulose, lignine, dans la fraction organique morte, on trouve un ensemble de polymères beaucoup plus complexe et moins bien défini, les composés humiques, qui se distinguent par leur structure et leur persistance, sont une partie de l'humus (SPOTIO, 1989) la matière organique des sols se caractérise, comme les argiles, par une grande surface spécifique et par son pouvoir gonflant, permettant la pénétration de l'eau et la diffusion de molécules de petites tailles qui peuvent ainsi se lier avec les substances humiques (CHOUDHRY, 1994).

La liaison métallique à la matière organique peut être vue comme un processus d'échange ionique entre H^+ et les ions métalliques sur les groupes fonctionnels acides. (MCBRIDE, 1989).

La présence de la matière organique dans un sol, joue un rôle considérable sur la structure de ce sol, en améliorant l'aération, la mouillabilité des sols argileux (LEMAIRE 1990).

en pépinière, un taux de 3 à 5 % recommandé, ce qui est obtenu par un apport d'amendements organiques avant plantation, cependant dans les sols sableux où les quantités nécessaires sont élevées, le coût peut être un facteur limitant.

II-2-6-La température et l'humidité du sol :

Elles jouent un rôle indirecte en favorisant l'activité biologique du sol et la production des substances acides ou complexante, issues de la biodégradation de la matière organique, l'élévation de la température agit directement sur la dissolution de composés fixant un élément trace métallique, facilitant ainsi son absorption par la flore, l'humidité agit également directement dans le processus de précipitation et de solubilisation, par ailleurs, un excès d'hygrométrie peut conduire à un défaut d'aération du sol.

II-3-Les propriétés chimiques :

II-3-1-Rôles des éléments nutritifs :

Tous les éléments nutritifs nécessaires au développement des plantes sont absorbés sous forme minérale (y compris l'Azote).

II-3-2-Nutrition des plantes :

Environ 16 éléments chimiques sont reconnus indispensables au développement des plantes vertes, parmi ces éléments certains sont puisés dans l'atmosphère et dans l'eau

(carbone, oxygène, hydrogène,) les autres, dans le sol .

Ces éléments, tous indispensables à la croissance des plantes, sont subdivisés en deux groupes :

- Les éléments majeurs (macro éléments / absorbés en grandes quantités par la plante
 - Les oligo-éléments (micro-éléments) absorbés en quantités infimes .
 - Les éléments majeurs forment environ 99 % de la matière sèche végétale (en poids) .
- Carbone (C) 40 à 50 %
 - Oxygène (O) 42 à 44 %
 - Hydrogène (H) 6 à 7 %
 - Azote (N) 1 à 3 %
 - Phosphore (P) 0.05 à 1 %
 - Potassium (K) 0.3 à 3 %
 - Calcium (Ca) 0.5 à 3.5 %
 - Soufre (S) 0.1 à 0.5 %
 - Magnésium (Mg) 0.03 à 0.8 %

Les oligo-éléments ne représentent que 1% environ du poids de la plante mais la plupart d'entre eux sont indispensables à la croissance de la plante : Fer, Mn, Zn, Mo, B, Cu, ..etc.

En effet, l'insuffisance d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments, et par suite le rendement(LEIBIG 1990).

De même, l'excès d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments et par suite diminue les rendements des récoltes

Cependant, l'excès ou le déficit du sol en certains éléments nutritifs, et particulièrement les oligo-éléments, peut se manifester par des phénomènes de toxicité ou de carence des végétaux (Mn, Cu ,) .

Les symptômes de carences ou excès en éléments minéraux, la non satisfaction de la plante vis à vis de sa nutrition va ralentir sa croissance ou perturber son développement à l'extrême, tout excès ou carence peut provoquer des symptômes parfaitement visibles utiles pour le diagnostic .

a)-L'Azote :

L'Azote se trouve dans le sol sous trois formes : organique, ammoniacale et nitrrique, représentant trois stades de décomposition biologique des matières organiques (VILLAIN, 1989) il provient des sources suivantes :

Atmosphérique, (entraîné par les pluies ou fixé par les bactéries), organique (incorporé dans la matière organique) et l'Azote des engrais (SOLTNER, 2000) l'insuffisance d'azote va donner à la plante un feuillage jaunissant de façon uniforme, une tige mince est une végétation insuffisante, des racines très longues, peu ramifiées, blanches .

L'excès d'Azote va provoquer une stimulation de la croissance des feuilles au dépend des fleurs, tissus tendres à parois minces, dans les cas graves, chlorose des feuilles jusqu'à entre les nervures, tendant vers sa nécrose et dessèchement, excès de pression osmotique, flétrissement nécrose racinaire, faible croissance.

b)-Le phosphore :

Le phosphore dissous dans la solution du sol et le phosphore adsorbé sur le complexe adsorbant, constituent la réserve rapidement assimilable par la plante (SOLTNER, 2000, et JONES, et JACOBSEN, 2001) .

b)-Rôles du phosphore :

- Division cellulaire.
- Formation des fleurs, fruits et graines .
- Développement racinaire et la maturation .

Une insuffisance en phosphore provoque un rougissement de la tige et du pétiole des feuilles, angle des nervures très aigu, nanisme générale de la plante, un excès en phosphore donne un jaunissement générale, brunissement des extrémités et des bords des feuilles, suivi de nécrose et une faible croissance des racines .

c)-Le potassium :

(MOREL, 1996) signale que l'estimation de l'aptitude d'un sol à assurer l'alimentation des cultures en potassium doit être associé au taux d'argile et à la valeur de la CEC .

Il joue un rôle important dans les mécanismes de la photosynthèse, lors de la migration des sucres, la synthèse des matières Azotées, l'économie d'eau, la résistance au froids, la résistance aux maladies cryptogamiques

Une insuffisance en potassium provoque des chloroses puis brunissement des bords du limbe des feuilles de base, pouvant s'étendre entre les nervures et évoluant vers la nécrose, feuilles jaunes plus ou moins roulées .

Croissance diminuée, racines jaunes pâles, peu ramifiées .

L'excès du potassium provoque des nécroses au niveau de la racine et une faible croissance, antagonisme potassium / magnésium ou potassium / calcium flétrissement provoqué par excès de pression osmotique .

d)-Le calcium :

Dans le sol, le calcium représente le principale élément de saturation du complexe absorbant, il contribue puissamment à flocculer les argiles et les complexes argilo-humiques, renforçant ainsi la stabilité structurale du sol (GAUTIER, 1987) . Par contre un excès de calcium peut provoquer surtout l'insolubilisation des composés phosphatés et le blocage éventuel des oligo-éléments (Fe, Zn, Cu,et Mn) (MOREL, 1996) .

Chlorose internervaire, croissance diminuée, plante molle, une insuffisance en Ca donne des feuilles d'une couleur vert sombre tendant vers la chlorose des pointes et les bordures des feuilles jeunes, puis internervaire, nécrose possible, croissance faible, parois cellulaires fragiles, malformation des feuilles, bourgeons terminaux brunissant, racines courtes, très ramifiées.

e)-le Magnésium :

L'insuffisance en Mg provoque une chlorose sur les feuilles du bas, principalement des tâches internervaires irrégulières, élaboration entravée de la chlorophylle, le reste du limbe reste vert, le sommet des feuilles à parfois tendance à s'enrouler .

L'excès du Mg provoque un déséquilibre par absorption insuffisante du potassium, croissance des tiges exagérée, floraison diminuée, dans le cas grave, feuilles vert sombre, plus petites, jeunes feuilles enroulées, les extrémités des tiges se flétrissent, forte croissance des racines .

f)-le Soufre :

Une insuffisance en soufre donne une plante entièrement chlorotique, surtout les jeunes feuilles, feuilles épaisses et dures, tiges courtes, ligneuses, et de nombreuses racines blanches et ramifiées un excès en soufre donne des feuilles petites se courbent en dedans, brunissement marginale, tiges dures, jaunissement de l'extrémité .

g)-Le Fer :

L'insuffisance provoque des chloroses internervaires évoluant vers un jaunissement générale du limbe des jeunes feuilles, tiges minces .

h)-Manganèse :

L'insuffisance en Manganèse provoque une chlorose internervaire des jeunes feuilles évoluant vers des tâches nécrotiques brunes, les nervures restent vertes et l'excès provoque des feuilles tordues .

i)-Le Cuivre :

L'insuffisance en Cuivre provoque des chloroses aux jeunes feuilles, plantes molles séchant facilement et l'excès donne des chloroses aux feuilles avec des tâches brunes

j)-Le Zinc :

L'insuffisance en zinc donne une chlorose mouchetée des feuilles, suivie de nécrose et chute des feuilles, raccourcissement des entre-nœuds .
L'excès en zinc provoque la chlorose surtout des jeunes feuilles, y compris les nervures, les feuilles ont des nervures rouges ou noires, puis se dessèchent.

k)-Le Bore:

Une insuffisance en Bore donne des feuilles avec une couleur vert clair, souvent des tâches brunes sur les tiges, l'apex dépérit, les pousses inférieures se développent .

Racines jaunes ou brunes, ridées, pourrissant au collet et un excès en Bore provoque un jaunissement du bord des feuilles, gagnant toute la surface, laissant de grandes tâches brunes sur les bords puis chute des feuilles.

III-Classification des substrats selon leur inertie chimique :

On peut classer en générale les substrats dans deux catégories (ANSTETT, 1976)

Le premier groupe englobe des substrats physico - chimiquement inactifs, qui sont caractérisés par le fait, qu'ils n'interviennent pas dans l'alimentation minérale du plant, ce qui implique le recours à des solutions nutritives, ces mélanges peuvent être constitués par du sable, gravier, argile expansé, la perlite, matières plastiques expansées, etc....

Le deuxième groupe comprend les substrats physico- chimiquement actifs, comme les tourbe, ou de la terre ordinaire, les terreaux végétaux, écorces compostées, etc....

Dans cette catégorie, le mélange peut stocker et céder les éléments nutritifs au végétale et la fertilisation n'est pas obligatoire .

IV- Nécessité des mélanges en pépinière :

Le substrat doit être un support solide composé d'un élément rétenteur d'eau et d'un élément aérateur (ARGILLIER et al, 1990).

En effet un seul élément ne permet pas de satisfaire à la fois les besoins en eau et en air de la plante, d'où la nécessité de faire des mélanges pour obtenir un substrat qui a les qualités recherchées.

**Tableau 07 : comparaison des qualités et des défauts des substrats (organiques et inertes)
(BENAMAR F, 1981)**

Propriétés physico-chimiques	Matières organiques	Matières expansées
Capacité de la rétention en eau	Bonne à excessive	Faible
Capacité pour l'air	Bonne à mauvaise	Très bonne
Stabilité structurale	Faible à moyenne	Excellente
Capacité d'échange de bases.	Moyenne à élevée	Nulle
Pouvoir tampon	Moyen à élevé	Nul

La comparaison entre les caractéristiques des matériaux pris isolément, et les qualités requises pour un bon substrat, nous imposent la nécessité du mélange pour mieux répondre aux exigences des plants, un mélange doit être un milieu où se développent les racines, en assurant une bonne alimentation en eau et en éléments nutritifs .

Pour respecter cet objectif, il faut chercher des substrats simples à mélanger .

D'après (ARGILLIER, et al 1990), le choix de rétenteurs d'eau se limite aux tourbes blondes ou noires à longue fibre avec toutefois, une préférence pour les tourbes blondes, dont la stabilité physico-chimique est meilleure durant toute la période d'utilisation et le choix des aérateurs est plus vaste : perlite, vermiculite, fibre de bois traités, composte d'écorce de pin, marc de raisin, etc.....

Quelques exemples de mélanges expérimentés dans le monde :
En France les mélanges les plus couramment utilisés sont généralement de composition simple :

- Tourbe et sable (proportion 50% - 50%).
- Tourbe (50 %), terre ordinaire (30 %), sable (20 %).
- Tourbe (50 %), pouzzolane (50 %) (HENRY, 1973).

Aux USA le milieu de culture le plus répandu est composé de tourbe blonde et de vermiculite, ce mélange à une bonne rétention en eau et une capacité d'échange en ions élevée, ce même mélange est utilisé en France, mais on remplace la vermiculite par du sable ou des produits neutres, comme l'argile expansée, les schistes broyés (ANNOMYME, 1975).

V-Conclusion :

Le choix du substrat se fait en fonction des besoins du plant, en effet pour permettre une bonne activité du système racinaire, le substrat doit avoir une fonction de support physique, de protection du système racinaire, de réserve en éléments minéraux, et de réservoir en air pour la respiration des racines.

I-Normes et qualité des plants :

I-1-Définition d'un plant de qualité :

D'après (FRANCOIS , 1989), un plant de qualité doit remplir les trois conditions suivantes :

- Avoir une bonne provenance adaptée à la région d'utilisation, lui assurant une vigueur et une forme satisfaisante;
- Assurer une reprise voisine de 100% pour éviter les regarnies, toujours coûteux.
- Permettre une bonne croissance dès la première année pour limiter les entretiens .

I-2-Critères des plants de qualité :

Pour atteindre les trois objectifs cités si dessus, le reboiseur doit porté une attention particulière aux caractéristiques génétiques, morphologiques et physiologiques des plants avant de les mettre en terre . (FRONCOIS, 1989) a résumé ces caractéristiques dans les points suivants :

I-2-1L'age du plant :

Le taux de reprise des plants et leur rapidité de croissance après plantation dépendent pour beaucoup de leur capacité de régénérer de nouvelles racines, cette capacité décroît fortement et rapidement avec l'age .

Pour les productions en godet, les plants ne doivent pas excéder une seule saison de végétation .

I-2-2-La viabilité du plant :

La diminution de la viabilité peut être causée, entre autre, par les conditions suivantes :

- De mauvaises conditions de transport et une durée trop longue de celui ci ;
- Un stockage en bottes serrées ou empilées dans un lieu qui n'est pas suffisamment frais et humide ;
- Des conditions de terrain asphyxiantes en pépinière
- Une exposition prolongée des racines au vent et au soleil entraînant une déshydratation des plants .

I-2-3-Conformité du système racinaire :

Le système racinaire doit être bien conformé, la conduite en pépinière doit rechercher la production d'un système racinaire abondant plutôt qu'une tige de grande dimension en effet, les plants doivent avoir un bon équilibre racines / tiges (la masse des racines doit être au moins égale à celle de la tige).ils doivent également présenter une bone architecture du système racinaire sans déformations rédhibitoires.

Une culture sur une seule saison de végétation dans un godet d'un volume suffisant (supérieur à 200cm^3) avec un substrat suffisamment drainant et aéré, et en appliquant le principe de cernage à l'air, permet de produire un système racinaire avec un minimum de déformation.

I-2-4-Qualité de la partie aérienne :

De la qualité de la tige dépend la forme ultérieure de l'arbre et donc sa capacité à produire des sujets droits.

elle doit donc respecter les principes suivants :

- La tige doit être bien conformée, les plants présentant des tiges flétries ou en partie noires cassantes ou avec des nécroses ou chancres doivent être refusés ;
- Elle doit être droite est unique, une tige flexueuse, une fourche dès la base indique, souvent une mauvaise origine génétique ou un manque de vigueur ;
- Elle doit être bien aoûtée et avec un bourgeon terminal en bon état, c'est une garantie sur la croissance ultérieure en particulier, une croissance dans l'axe de la tige sans descente des cimes ou repousses sur de bourgeons auxiliaires qui occasionneraient obligatoirement une crosse.

I-2-5-Etat sanitaire :

Des plants présentant des indices de maladies sur les aiguilles ou les feuilles, de nécroses sur les tiges ou d'attaques par le gibier ou tout autre symptôme doivent être éliminés.

II-La normalisation des plants forestiers :

II-1-Définition des normes :

Les normes sont des textes définissant avec précision les caractéristiques de produits (NICOLAS, 1987) , dans notre cas les végétaux de pépinière conformes aux exigences techniques de la plantation tiennent compte de :

- La qualité génétique;
- La qualité sanitaire ;
- Et les qualités morphologiques.

II-2-Intérêt de la normalisation pour les pépiniéristes :

Le pépiniériste, en produisant des plants répondant aux normes, contribue à abaisser le prix de revient .

En effet, les végétaux normalisés obtenus, sont de qualité, ce qui constitue un argument de vente : qualité et homogénéité des plants (NICOLAS, 1987) .

II-3-Intérêt de la normalisation pour l'utilisateur :

Elle constitue :

- Une garantie de qualité et de régularité ;
- Un moyen d'accéder à des informations auparavant dispersées, incertaines (origine des semences, traitement, techniques d'élevage),
- Et l'article étant bien défini, il est aisé de comparer les offres . donc il devient plus facile de rédiger les commandes avec précision, même à distance (NICOLAS, 1987).
-

II-4-Application des normes :

L'intérêt du reboiseur est difficile à cerner, si les conditions de reprise à la plantation sont bonnes, il a certainement intérêt à choisir des plants relativement grands, mais pas excessivement, pour éviter la manifestation de la crise de transplantation, par contre si elles sont mauvaises, il a intérêt à choisir des plants plus petits.

Le sylviculteur doit bien établir la liaison entre les trois facteurs: âge, hauteur, diamètre au collet pour s'assurer de la commercialisation des plants de qualité .

Un seul problème reste à résoudre, à savoir celui de l'enracinement, dont la qualité est difficilement mesurable.

II-4-1-Relation âge- taille :

Pour un âge donné, ce sont des plants ayant les plus grandes dimensions (catégorie US) qui donneront en forêt les meilleurs résultats, de très nombreux essais notamment ceux de l'AFOCEL,1979, sur l'épicéa et le douglas l'ont confirmé . néanmoins il faut se méfier des beaux plants trop âgés, qu'il est déconseillé de planter (HADJSADOK, 1991).

II-4-2-relation hauteur diamètre au collet :

Cette relation est liée au problème de repiquage en pépinière dans le cas de plants à racines nues .

En effet, la hauteur est peu influencée par la densité au repiquage, par contre le diamètre au collet l'est, et il peut y avoir des différences importantes qui peuvent aller jusqu'à 25 % .

TABLEAU 08 :Normes préliminaires de qualification des plants des principales essences

forestières (Mohammed, S, lamhamedi, 2000) .

Paramètre	P. pinea	P. halepensis	C. sempervirens	Q. suber
Hauteur (H cm)	25 – 30	25 – 30	30 – 45	28 - 40
Diamètre (D mm)	3– 5	3– 5	4– 5	4– 5
Rapport (H/ D)	< 7	< 7	< 8	< 8
Rapport (tige/racine)	3– 4	3– 4	3– 4	3– 4

II-5-Les normes pratiquées en Algérie :

Une ébauche de normalisation à vu le jour en Algérie pour les plants forestiers .
L'arrêté interministériel n° 995/4309/SG/DMVT/ du 14-12-1982 a permis la création de commissions d'agrèges composées de :

- Sous directeur des forêts et de la mise en valeur des terres comme président ;
- Chef de bureau de la mise en valeur des terres
- Chef de bureau de la protection des forêts

Et le représentant du producteur (ONTF ou EMIFOR ou autre) .

Cette commission est chargée d'inspecter les produits de pépinières pour procéder à leur agrément .

Cette opération donne lieu à l'élaboration d'un procès verbal d'agrèage sur la base des critères, en prélevant dix (10) plants par planches, ces critères sont :

- Une bonne présentation générale de la planche et de son contenu avec une homogénéité de la taille et de la couleur ;
- La hauteur de la partie des plants élevés en sachets, ne doit pas excéder deux (02) fois celle de la partie souterraine ;
- La tige du plant doit être bien aoûtée au niveau du collet ;
- Présence des racines secondaires abondantes ;
- Absence de malformations racinaires ;
- Absence de symptômes de maladies et d'agents pathogènes visibles.

II-5-1-Critique :

Il est certain que la mise en place de normes pour la production de plants soit nécessaire,
néanmoins, depuis l'arrêté du 14 décembre 1982, rien de concret n'a été fait pour remédier aux insuffisances aux niveau de ces normes, excepté un deuxième arrêté daté du 18 août 1986, pour la convocation de commission de Wilaya de contrôle et d'agrèage tout en se référant à celui du 14 décembre 1982 .

Les insuffisances peuvent être résumées dans les points suivants :

- tige multiple et souvent traumatisée ou blessée lors des manipulations et absence du bourgeon terminal ;
- système racinaire souvent mal conformé
- l'âge et hauteur des plants (cm) en fonction du diamètre au collet (mm);
échantillonnage faible (10 plants par planche de semis, tout en sachant que cette dernière contient 7000 plants (Hadsadok 1991).

II-6-Normes (F.F.N) et les normes (C.E.E) :

Les normes (F.F.N) (Fonds forestier national français) ont été édictées, vers 1960 dont le but majeur, est de définir comme (bons plants) ceux qui présentent un rapport (hauteur/ diamètre au collet) inférieur à un certain seuil, il est variable selon les espèces et les catégories d'âge tout en maintenant le principe d'une hiérarchisation fondée sur un

critère de hauteur, d'où la détermination des catégories (U.S) (utilisation spéciale), c'est à dire les plus grands pour les résineux.

Les normes (C.E.E) (Communauté Economique Européenne), qui sont apparues en 1973, traduisent, au plan réglementaire, la nécessité du respect d'un rapport (hauteur / diamètre) suffisamment faible déjà imposé au niveau des normes (F.F.N) mais surtout en proposant des tarifs croissants avec la catégorie de hauteur des plants.

I-Place taxonomique et systématique de *Quercus suber*-L :

L'identité taxonomique de *Quercus suber* L. demeure pour certains auteurs incertaine, tant l'arbre est polymorphe et tant il existe de possibilité d'hybridation (SACCARDY, 1937 CAMUS, 1938 ; NATIVIDADE, 1956, FRAVAL, 1991).

Quercus suber est une espèce qui appartient à l'ordre des Fagales, à la classe des Magnoliopsidae et au genre *Quercus* .

Le chêne liège est relativement polymorphe, de nombreuses variétés ont été décrites

Celles-ci portent sur la forme des écailles, la taille et la forme de la cupule, la disposition des fruits, la forme et la périodicité du renouvellement des feuilles et sur la disposition des rameaux .

AIME (1976), signale que le genre *Quercus* pose un problème phylogénétique qui n'est toujours pas résolu, il met l'accent sur le problème posé par *Quercus suber* et les espèces voisines : *Quercus pseudo suber* et *Quercus cerris* .

II- Principales caractéristiques botaniques :

II-1-Allure générale, longévité :

Le chêndiège présente un port variable en fonction de la densité du peuplement il présente un couvert léger laissant passer la lumière. C'est un arbre de taille moyenne, il peut atteindre 20 à 25 m, mais ne dépasse rarement 15 m. A l'état isolé, le tronc est couvert de grosses branches étalées, quand il vit en massif, le tronc est plus droit et plus long.

Le chêne liège peut vivre jusqu'à 250 à 300 ans, les levées successives de liège, avec des rotations de 9 à 11 ans, sont possibles jusqu'à 150 à 200 ans (Vignes 1990) .

II-2-Feuilles :

Les feuilles présentent un polymorphisme très marqué, elles sont généralement coriaces, dentées ou non elles sont ovales, assez souvent renflées, vertes foncées et lisses sur leur partie supérieure, blanchâtre tomenteuses et duveteuses sur leur partie inférieure.

Les feuilles sont pseudo-sempervirentes. Elles ont plus d'un an, meurent et tombent quelques mois après le développement des jeunes feuilles (AIME, 1976) .

II-3-Fleurs :

Le chêne liège est monoïque et allogame, les fleurs mâles pendent en chatons à l'extrémité des rameaux de l'année, elles sont longues de 4 à 8 cm (fraval, 1991) les fleurs femelles sont de petits boutons écailleux qui se forment à la base des tiges de l'année, elles portent un style à trois branches, stigmatifères, rouges ils sont à axe poilu, court portant 2 à 5 fleurs, la floraison a lieu au printemps, parfois en automne mais ne donne pas de glands dans ce cas .

II-4-Glands :

Le fruit du chêne liège présente une forme et des dimensions très variables suivant les arbres, il atteint 4.5 cm, il a en général deux cotylédons et un seul embryon, rarement 3 ou 4 cotylédons .

La maturation des glands a lieu dans l'année de floraison, à la fin de l'automne les glands tombent en Octobre et Novembre , parfois jusqu'à Janvier. Les bonnes glandées se répètent tout les 2 ou 3 ans .

Les glands sont amers ils sont rarement consommés par l'homme, mais ils constituent un aliment de choix pour le bétail et le sanglier, cependant, dans certains cas en Espagne, les forestiers apprécient le degré de maturité des glands en fonction de leur teneur en sucre . il arrive parfois que le gland présente une teneur en sucre très élevée comparativement à celle du gland du chêne vert (MESSAOUDENE 2000).

II-5-Rameaux :

Dès qu'ils ont trois ou quatre ans, les jeunes rameaux, en grossissant, font crevasser leur écorce, plus les branches sont grosses plus les crevasses sont profondes, elles peuvent s'élargir de 2 à 3 mm par an, l'écorce est alors gris clair, elle porte des tâches de lichen, parfois de mousses c'est l'écorce mâle (SEICUE. 1985) .

II-6-L'écorce (liège) :

C'est un tissu parenchymateux formé par l'assise subero-phellodermique il recouvre le tronc et les branches, il est régulièrement exploité chaque 12 ans.

La première levée de liège, appelée démasclage, est effectué lorsque l'arbre atteint 17.5 cm de circonférence à 1.30 m (VEILLON , 1998) ce liège appelée liège mâle est utilisé en trituration, car il est impropre à la fabrication de bouchons . ensuite la qualité du liège augmente avec les levées Successives, la hauteur de prélèvement du liège augmente à chaque levée, elle est de 1.5 à 3 fois la circonférence (VEILLON, 1998) .

II-7-Racines :

La charpente des racines principales comporte, outre un pivot puissant et profond, un grand nombre de racines latérales, la longueur maximale observée pour cette partie traçante est de 32 cm (SAUVAGE, 1961) le chêne liège est capable d'opposer une concurrence radiculaire à toutes les espèces phanérogames du tapis végétal .

NATIVIDADE (1956) souligne que dès le jeune âge, le chêne liège montre des dispositions naturelles à s'enfoncer verticalement et avec vigueur dans le sol trois mois

après le semis, les racines atteignent 0.55 à 0.60 m, tandis que la partie aérienne atteint 9 cm, les racines superficielles présentent l'aptitude de former des drageons, les racines peuvent être mycorhizées par des champignons tels Boletus, Russula, Lactarius (VEILLON, 1998).

III-Aire de répartition de chêne-liège :

III-1-Aire de répartition mondiale :

Les limites de répartition de chêne-liège sont à l'heure actuelle, bien connues selon QUEZEL et SANTA, (1962) Quercus suber est une espèce méditerranéenne et plus précisément ouest méditerranéenne il occupe le pourtour méditerranéen occidental, qu'il déborde d'ailleurs en Espagne et au Portugal atlantique, il atteint la Dalmatie à l'est (QUEZEL, 1976).

NATIVIDADE (1956) souligne que la limite vers le nord dépasse à peine la 44^{ème} .Parallèle en Algérie et en Tunisie, ne descend pas la 36^{ème} parallèle, alors qu'au Maroc, en raison de l'influence océanique, la limite du chêne liège descend au delà de la 33^{ème} parallèle (CHIHEB et AOUADI, 1998) .

Globalement, l'aire géographique du chêne-liège se développe autour d'un noyau ibero - marocain et diffuse le long des côtes atlantiques d'une part (FRAVAL et VILLEMANT, 2000) et méditerranéenne d'autre part (AIME, 1976) selon NATIVIDADE 1956, la limite ouest de cette aire constitue la région la plus favorable à la végétation du chêne-liège .

Sur 2150000Ha qui représentent la superficie vraisemblablement de l'aire de Quercus suber, 1544574 Ha, c'est à dire plus des deux tiers, appartiennent à cette zone atlantique .

Tableau 09 : extension de la superficie du chêne liège dans le monde :

(MESSAOUDENE 2000)

Pays	Zeraia (1981)	Salzar sampiao (1988)	Veillon (1998)	Yessad (1999)
Portugal	600 000	555 000	600 000	605 000
Algérie	480 000	440 000	200.000	450 000
Espagne	340 000	340 000	340 000	352 000
Maroc	450 000	300 000	300 000	345 000
Tunisie	/	140 000	100 000	90 000
France	108 000	150 000	70 000	56 500
Italie	/	70 000	70 000	70 000
Total	1978 000	1995 000	1680 000	1968 500

En dehors de cette zone atlantique, le chêne liège limite sa végétation à la proximité des côtes et aux îles de la Méditerranée occidentale, c'est ainsi que la limite nord de l'aire se développe en France et en Italie avec une interruption au niveau du

Languedoc et de la Provence rhodanienne, qui représente la partie la plus froide du bassin méditerranéen Français (FLAHAUT, 1937 in AIME,) le chêne liège est exclu de toute région pouvant présenter le moindre aspect continental (AIME) il aurait occupé autrefois quelques 8.4 millions d'hectares dans l'ensemble de la région méditerranéenne, alors qu'à l'heure actuelle, il n'occupe vraisemblablement que 2.3 à 2.5 millions (SAAMPAIO, 1988) Voir 2 millions (VARELA, 1999) on ne connaît pas la situation véritable, car les inventaires ne sont pas actualisés .

III-2-Aire de répartition algérienne :

Le chêne –liège se localise dans le tell, région caractérisée par de fortes précipitations atmosphériques et un état hygrométrique élevé (De BEAUCOURDEY, 1956) il prospère sur une bonde dans la largeur ne dépasse pas 70 Km de la mer (CHIEB et AOUADI,1998)

Les principales suberaies algérienne sont situées essentiellement en zone sub- humide et humide au nord, et entre l'Algérois et la frontière Tunisienne, où elles s'étendent de la mer jusqu'à 1200 m d'altitude (ZERIA, 1981).

La suberaie algérienne couvre une superficie de 440 000 ha, des divergences apparaissent d'un auteur à un autre. Selon BOUDY, 1952 , elle forme un bloc de 401000 ha à peu près continu dans la zone Numidienne, s'étendant le long du littoral de Dellys, à l'est d'Alger à la frontière tunisienne, alors que la surface climacique de chêne liège est de 129200 ha, soit 62 % de diminution (BARBERO et al, 1990) .

On y a lieu de souligner la régression de l'aire du chêne liège, dans certains cas au profit des chênaies caducifoliées sur les versants nord (DJAOUD et HECHZIFENE, 1993) et de peuplements de résineux (BENSAD et CHALABI, 1998) .

A l'ouest algérien la superficie occupée par la suberaie passe de 9400 ha dans les années 50, pour atteindre aujourd'hui environ 6000 ha (BOUHARAOUA, 1999) .

IV- Exigences écologique de chêne-liège :

IV-1-Les facteurs édaphiques :

Le chêne-liège est une espèce calcifuge, préfère des sols siliceux (grès Numidiens, sable pliocène) ou à la rigueur argilo-siliceux, il s'accommode à d'autres sols, pourvu qu'il n'est pas de calcaires assimilables, il craint les terrains calcaires et argileux (VEILLON, 1998) à ce titre, les résultats obtenus par AIME, 1976 opposent nettement Les argiles et les limons fins d'un côté, et les sables fins et grossiers de l'autre.

Les contraintes édaphiques sont responsables d'une bonne part du taux d'échecs des plantations des semis du chêne liège (BOUDY, 1951, LEPOUTRE, 1965) .

Ces derniers s'installent d'autant plus facilement que la couverture de sable est moins épaisse (MARION, 1951) .

Le tassement du sol par le piétinement fréquent rend difficile l'opération d'enracinement(HASNAOUI, 1995) .

Le système racinaire du chêne-liège à l'état juvénile est constitué d'un pivot unique et un système racinaire traçant (SAUVAGE,1961) celui-ci est surpris par la saison sèche bien loin du plancher argileux humide, ce qui génère le dessèchement du jeune plant (EL HASSANI et DAHMANI, 1996) .

Selon DJINIT 1977, les facteurs limitant les semis de chêne-liège sont :

- Une faible alimentation en eau du sol en été.
- Une carence en magnésium et un excès en potassium .
- Pente très forte favorisant le ruissellement et le décapage de la couche superficielle du sol nécessaire à la régénération.

IV-2-Température :

C'est une essence relativement thermophile, elle demande une température douce, dont l'optimum se situe entre (13 c° et 18 c°), elle ne supporte pas les gelées de – 9, longtemps (1 à 2 jours) (BOUDY, 1952) .

IV-3-La lumière :

Des observations quantifiées confirment que la survie des semis et leur croissance augmentent sensiblement avec l'éclairement relatif (CHOLLET, 1997) le chêne-liège est une essence héliophile, de ce fait, il exige une forte insolation, d'après (ZERAIA,1981) la meilleure glandée se manifeste dans les expositions Sud et Ouest où la lumière et la température sont suffisantes. (FROCHOT et al, 1986) estiment que l'augmentation de l'éclairement provoque la levée de dormance d'une partie du stock de graines au sol et permet une photosynthèse plus intense.

Etant une essence héliophile, le chêne-liège exige une forte insolation si les semis qui s'installent ne trouvent pas une lumière suffisante, ils disparaissent dans les années qui suivent leur germination (SACCARDY, 1937).

IV-4-Humidité :

Le chêne-liège est exigeant en humidité . il demande des précipitations annuelles supérieures à 600 mm, l'évolution de l'humidité des sols forestiers est un des aspects essentiels de la recherche sylvicole en milieu méditerranéen, puisque l'eau joue un rôle de facteur limitant pour la production et la régénération (DE BEAUCORPS, 1956) .

Si le maintien pendant la saison sèche d'une certaine humidité dans le sol est une condition nécessaire à la régénération naturelle du chêne-liège, cette condition n'est ni suffisante ni toujours primordial selon (ZERAIA, 1981). la fréquence des pluies pendant la période estivale constitue l'élément le plus important pour la régénération de chêne-liège, (ALLILI, 1983) rajoute que l'humidité de l'air doit être supérieure à 60 % durant le mois le plus sec, pour qu'elle favorise la régénération, MAIRE, 1926 souligne que le Quercus suber ne se développe que dans les régions où les précipitations sont fortes (600 mm) .

IV-5-Les gelées:

D'après AUSSÉNAC (1975), les gelées de printemps (mois de mai) peuvent avoir une influence néfaste sur les semis. Le chêne-liège redoute les gelées persistantes, alors que les gelées tardives, jusqu'à -5°C , peuvent anéantir aussi bien la floraison de adulte que les jeunes semis de l'année.

V-Importance économique :

Tout comme les autres produits forestiers, le liège occupe une place importante dans l'économie nationale, et les suberaies sont appelées à en satisfaire les besoins nationaux. En 1967, 200 000 Qx de liège ont été produits et exportés pour une valeur de 23 millions de DA. En 1978, la production de liège estimée à 137000 Qx, n'assurent que 42 % des besoins (VERBECK, 1986). Le liège est utilisé dans diverses industries, particulièrement dans la fabrication des bouchons.

Les principaux problèmes posés à la production du liège sont :

- La baisse de la qualité de liège liée au vieillissement des peuplements, au non respect des rotations et l'absence de tri des produits ;
- l'absence de réglementation ;
- le manque de main d'œuvre qualifiée ;
- les coûts d'exploitation élevés.

VI- Utilisation du chêne-liège :

Outre la principale source économique qui est le liège, nous pouvons citer d'autres utilisations .

Le bois est utilisé comme bois d'œuvre, il représente une source importante de bois de chauffage et charbon, vu son pouvoir calorifique considérable = 7000 cal à 25% d'humidité (NATIVIDADE,1956) .

L'écorce à tanin est utilisée pour l'extraction du tanin, qui présente des caractéristiques intéressantes (BOUDY, 1950)

- Le liège mâle est utilisé pour la fabrication des agglomérés
- La cellulose peut être utilisée d'après (NATIVIDADE,1956) pour la fabrication papetière
- Les glands présentent une valeur nutritive intéressante, ils sont appréciés par le bétail, la valeur fourragère est de 0,730 UF/Kg de glands (NATIVIDADE, 1956).
- Les feuilles, selon cet auteur, peuvent constituer un fumier de bonne valeur fertilisante des plantes médicinales et aromatiques, ect

DEUXIEME PARTIE MATERIELS & METHODES

I-Présentation de la zone d'étude :

Notre zone d'étude, située au Nord Ouest de la commune de Jijel à 12 Km du chef lieu de la Wilaya de Jijel est plus exactement au niveau de la pépinière hors sol du centre de Formation des Agents Techniques Spécialisés en Forêts (Oued kissir), à une altitude de 10 m du niveau de la mer, au Sud la zone est limitée par la forêt domaniale de « GUEROUCHE» (forêt de chêne-liège), au Nord par la mer méditerranéen à l'Ouest par la commune d'EL OUANA, et à l'Est par la commune de JIJEL .

Cette zone est caractériser par un climat du type méditerranéen, un hiver pluvieux et doux, et un été chaud et sec

II- Matériels et méthodes :

II-1-Matériaux utilisés :

II-1-1-Eléments rétenteur d'eau :

A)-Boue résiduaire (station d'épuration de Setif) :

Résidus de la station d'épuration des eaux usée (rejet domestiques) de la ville de Setif, sa nature est liée à la composition de l'effluent et au techniques des traitements.

La boue utilisée dans notre expérimentation a été produite en Février 2000 dans la station d'épuration des eaux usées de la ville de Setif (rejets domestiques), elle est d'une couleur noire foncé, odeur désagréable, la présence d'une faune remarquable (larves, nématodes, acariens,...). Elle est utilisée par les agriculteurs de la région à l'état frais, comme engrais pour leurs cultures, en absence de tous contrôles est règlement autorisant son usage.

La boue issue de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Setif a été produite selon les étapes suivantes : (figure 01)

A-1-Pré-traitement :

a) Relevage :

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

b) Dégrillage : (Déversoir 01)

Tous les débris solides 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.

d) Dessablage et déshuilage :

L'élimination des sables et graviers est réalisée par sédimentation, celle des corps gras par flottation grâce à une injection de l'air, le pré-traitement qui est un procédé uniquement mécanique, permet l'élimination des débris non biodégradables qui risqueraient d'entraver le procédé d'épuration de la station.

A-2-Procédé d'épuration :**a) Décantation primaire :**

Les matières sèches en suspension atteignant un taux de 65 % .

La DBO₅ (demande biochimique en oxygène pendant 5 jours) est de 35 %.

b) Stabilisation aérobie :

L'aération s'effectue par 4 turbines, qui vont assurer la minéralisation aérobie.

c) Epaissement :

Le volume de la boue est réduit d'environ 6 fois, la suspension boueuse est introduite dans un épaisseur où elle séjourne jusqu'à 1 mois, et on aboutie à la production de 40 g / l de matière sèche .

Après toutes ces étapes on aboutie à la production des boues primaires qui sont pompées vers les lits de séchages.

d) Aération :

Il y a dégradation de la matière organique dissoute. L'aérobie du milieu est assurée par 4 turbines qui vont permettre d'avoir une concentration identique en microorganismes dans le bassin d'aération.

e) Décantation secondaire :

L'excès des boues activées rejoindra les boues primaires .

f) Lits de séchages :

La boue est introduite dans des bassins peu profonds (15 m de longueur et 8 m de largeur), contenant des graviers et du sable, munis d'un système de drainage où elle va séjourner en plein air jusqu'à ce que les responsables de la station décident de sa destination finale (mise en décharge, engrais pour les agriculteurs).

En Octobre 2003 nous avons importé cette boue dans le lieu d'expérimentation (Centre de Formation des Agents Techniques Spécialisés en Forêts de Jijel). Cette boue a subi une stérilisation physique, qui consiste à l'exposer aux rayonnements solaires et aux

courants d'air jusqu'à ce que tous les microorganismes nuisibles disparaissent, ensuit un brassage manuel à l'aide d'une pelle quatre fois par semaine, et une stérilisation thermique qui consiste à l'exposer à une température qui varie entre 50° et 60 ° .

B)-Humus forestier sous feuillus (suberaie) :

Matière organique naturelle provenant de la décomposition de la litière accumulée sous une végétation de chêne-liège (Jijel) .Il est utilisé comme témoin durant notre expérimentation (substrat de référence).

Les travaux de I.N.R.F (Institut National des Recherches Forestières) de Setif 2002 sur l'élevage de plants de pin maritime en pépinière hors-sol ont montré que l'utilisation d'humus forestier sous feuillus avec les marcs de raisin ou écorce de pin composté mélangés à des proportions égales, donnent des résultats appréciables se rapprochant de la référence (50% tourbe blonde et 50% écorce de pin composté).

II-I-2-Eléments aérateurs :

Matériaux minérales ou organiques compostés, mélangés à un rétenteur, forment ensemble un support de culture avec des caractéristiques physico-chimiques recherchées.

A)-Granulés de liège incinérées :

Ce sont des particules de liège issues du broyage de l'écorce de chêne-liège, puis incinérées dans un four à une température de 400 C° (ces particules sont utilisées dans l'industrie du liège pour la fabrication de panneau en aggloméré pour l'isolation), le passage des granulés dans le four peut être considéré comme une opération de stérilisation, et élimination des phytotoxines, et aussi le taux élevé de tanin. Ces particules ont été expérimentées comme éléments aérateurs dont le diamètre varies de 2 à 6 mm.

Tableau 10 : caractéristiques physico-chimiques de granulés de liège

Paramètres	pH	Densité apparente	Porosité %	CE mmhos / cm	MO %	N %
Granulat de liège	6.28	0.05	92.6	0.05	77.5	0.04

B)-Grignons d'olive :

Ce sont les déchets récupérés des huileries, ils ont subi un compostage pendant trois ans afin de réduire le taux des acides et des composés toxiques qui peuvent exister, et de réduire le taux d'azote élevé par minéralisation, leur diamètre varie de 1 à 4 mm.

Les grignons d'olives compostés ne contiennent aucun métal lourd ou de polluants toxiques ou d'organismes pathogènes.

Tableau 11 : caractéristiques physico-chimiques du grignon d'olive.

Paramètres	pH	Densité apparente	Porosité%	CE mmhos / cm	MO %	N %
Grignon d'olive	5.60	/	88	0.07	80	0.50

C)-Sable :

On a utilisé le sable d'oued provenant d'oued Kissir (Jijel) .

II-1-3-Conteneurs « WM » :

Le choix du conteneur est un facteur déterminant pour produire un plant de qualité, c'est le système « W M » de Riedacker, qui remplace le sachet polyéthylène, il est sans fond, constitué de deux pièces rigides en polyéthylène emboîtables pliées sous la forme de lettre alphabétique W ou M de hauteur 17 cm pour 5,5 cm de côté et son volume est de 400 cm³ .

L'utilisation de ce conteneur à parois imperméables permet d'éliminer l'enroulement latérale des racines par ses angles dièdres, aigus, inférieurs à 40 °, qui imposent un développement verticale des racines, et d'éviter la formation du chignon. Ce type de conteneur est réutilisable 3 à 4 fois et même plus .

II-1-4-Les caissettes :

Il s'agit des caissettes en plastique de dimension 51x 35x 15 cm, elles présentent des ouvertures dans leurs fonds (bases) qui vont permettre l'auto-cernage des racines, une caissette peut contenir 40 conteneurs « W M » de 400 cm³.

II-1-5-Les bâches de culture surélevées :

Les bâches de cultures sont constituées de châssis métalliques, disposés transversalement sur des murettes en briques ou en parpaings de 20 cm de hauteur, le conteneur sans fond, la caissette de manutention à base ajourée, et la surélévation des châssis provoquent l'auto-cernage des racines, ce dernier est le résultat du coussin d'air et de la lumière ménagée à la base du conteneur.

II-1-6-Matériel végétal :

L'espèce utilisée dans notre expérimentation est le chêne-liège, et nous avons choisi cette espèce pour les raisons suivantes :

C'est l'espèce la plus importante du point de vue économique, (par son aptitude à produire du liège), qui représente une source non négligeable de devise.

Intérêt d'ordre sociale, par la fixation des riverains dans les massifs, et la création d'emplois, et surtout un intérêt écologique par sa faculté anti-érosive, et sa résistance aux incendies.

III-Méthode :

III-1-Préparation des substrats :

III-1-1-Tamisage :

La boue sèche et l'humus forestier ont été tamisés à 3 mm, afin d'éliminer les résidus non broyés et 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. Durant notre expérimentation les éléments rétenteurs d'eau sont la boue résiduaire, et l'humus forestier sous chênaie (témoin), et les éléments aérateurs sont les granulés de liège compostés, et les grignons d'olive compostés. Par cet essai, on cherche à faire une caractérisation physico-chimique de la boue, et de voir quel sera le comportement des plants de chêne-liège dans ces substrats, en vue de substituer le mélange supposé idéal (50% tourbe blonde + 50% écorce de pin composté) (ARGILLIER et al, 1990), et qui est économiquement coûteux par des matériaux disponibles localement, et qui présentent les mêmes performances culturales, mais économiquement moins coûteux.

Le tableau suivant donne la composition et la dénomination des différents substrats testés :

Tableau 11 : composition et dénomination des substrats testés :

	Mélange	
Substrats	Eléments rétenteur d'eau	Eléments aérateurs
S1	Boue 50%	Grignon d'olive 50%
S2	Boue 40 %	Grignon d'olive 60%
S3	Boue 30 %	Grignon d'olive 70%
S4	Boue 20 %	Grignon d'olive 80%
S5	Boue 50 %	Granulé de liège 50%
S6	Boue 40 %	Granulé de liège 60%
S7	Boue 30%	Granulé de liège 70%
S8	Boue 20 %	Granulé de liège 80%
Témoin	Humus forestier 50% + 20% sable + terreau 30 %	

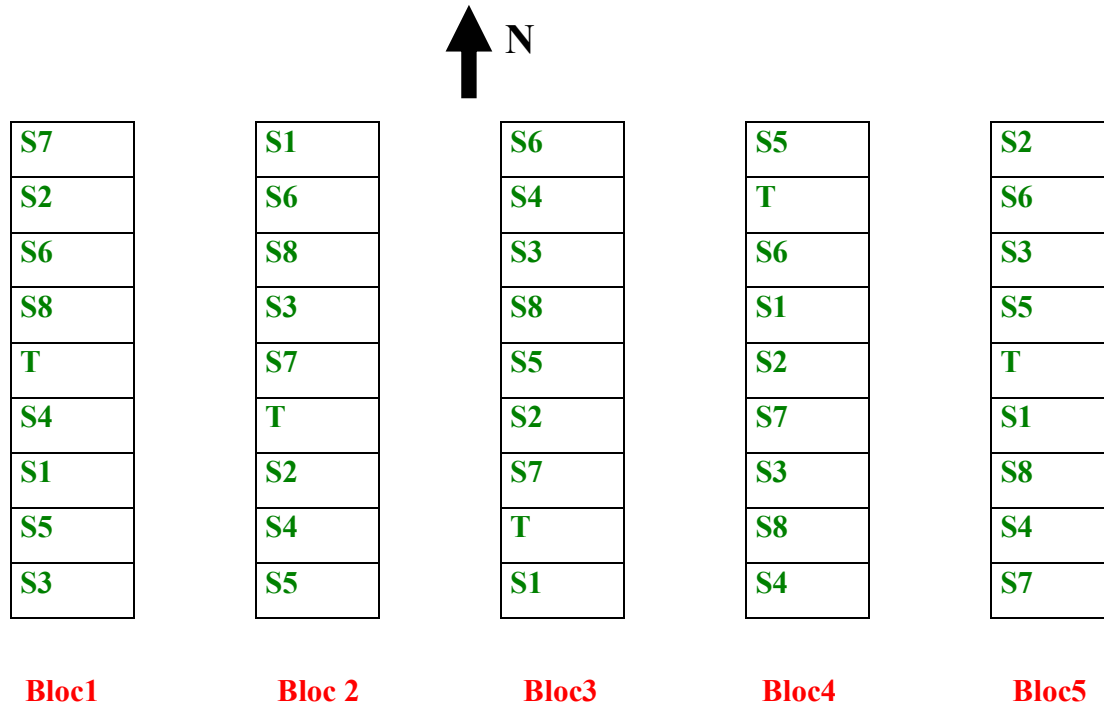
Les substrats ont été mélangés manuellement à l'aide d'une pelle et mis dans des conteneurs «W M» 400 cm³.

Après le remplissage des conteneurs, les caissettes sont installées sur les bâches de production.

III-2-Protocole expérimental :

Nous avons opté pour un essai en blocs aléatoires complet avec 5 répétitions, chaque bloc est composé de 9 caissettes en plastique à fond perforé, contenant chacune 40 conteneurs (40 plants) et correspondant chacune à un substrat (figure 02). ce qui donne. $9 \times 40 = 360$ plants par bloc et 1800 plants pour tout le dispositif, les caissettes sont surélevées de 20 cm par rapport au sol pour permettre l'auto cernage des racines.

figure 02 : plan du dispositif expérimental :



III-3-Conduite de l'élevage :

III-3-1-Echantillonnage et description de la provenance :

L'échantillonnage a été effectué dans un seul secteur géographique à savoir le secteur de Texana, où une seule provenance a été retenue au niveau de la forêt de Djebel Sandouh. Les glands nous ont été fournis par les services de l'I.N.R.F de Jijel.

Le tableau suivant donne une description succincte de la provenance écologique du chêne-liège.

Tableau 12 : description écologique de la provenance du chêne-liège

Provenance	Texannna
Latitude	36°73 Nord
Longitude	5°75 Est
Altitude	400 m
Pluviométrie annuelle	1200

Température moyenne annuelle	16.3C°
Etage bioclimatique	Humide

III-3-2-Semis :

Les glands utilisées dans cette expérimentation sont récoltés au sol à la fin de Novembre et début de Décembre 2003.

Un trempage dans l'eau tiède a permis le tri des glands, ceux flottants ont été écartés, les glands jugés sains ont été conservés en chambre froide (stratification en tourbe humide à 2-4 C°) pendant 03 mois.

Les glands ont été semés le 28 / 02 / 2004 à raison d'un gland pré-germé avec radicule apparente par conteneur .

III-3-3-Arrosage :

Il s'effectue manuellement trois fois par semaine pendant le soir, avec un contrôle régulier qui nécessite une grande disponibilité du pépiniériste est une bonne technique .

Le nombre d'arrosage est augmenté surtout au mois de Juillet et Août à 05 fois par semaine, dès qu'il y a un dessèchement de la surface du conteneur, du à la chaleur élevée.

III-3-4-Protection des semis :

Le désherbage des adventices s'est effectué manuellement dès que cela s'avère nécessaire, car celles ci exercent sur les plants des actions nuisibles du point de vue mécanique en étouffant les semis, et physiologique en provoquant une baisse de fertilité .

IV- Mesures et observations :

IV-La levée des semis :

On parle de levée dès qu'il y a apparition d'une plantule de chêne-liège, à chaque fois qu'une plantule apparaît on la calcule, jusqu'au dernier relevé, soit environ deux mois (du 10/03/2004 au 10/05/2004) au total 14 relevés ont été effectués, la majorité des semis ont germés dès le dixième relevé. (20/04/2004) (voir tableau 73 en annexe) .

IV-2-Le taux de survie :

Le taux de survie est calculé dans notre cas, par rapport au nombre total des glands semés, il représente le nombre total des plants restant en vie par rapport au nombre total des glands ayant levées .

Un plant de chêne-liège est considéré comme mort quant il se dessèche totalement et ne se régénère pas (ZAIR, 1989) .

IV-3-Mesure des hauteurs et des diamètres au collet :

Remarque :

Les mesures des hauteurs des tiges et des diamètres au collet ont été effectuées 71 jours après le semis à 05 dates différentes espacées de 30 jours .

IV-3-1-Technique d'échantillonnage :

Afin de réduire les risques d'erreur et d' arriver à une grande fiabilité du test statistique, nous avons opté pour un échantillonnage optimal et réalisable, soit 25 % de l'effectif

(10 plants / caissette), soit un total de 450 plants mesurés à chaque date, le choix des plants est aléatoire au sein des caissettes dans chaque bloc, et les différentes mesures des hauteurs et des diamètres au collet ont été effectuées sur les mêmes plants.

IV-3-2-Hauteur des plants :

A l'aide d'une règle graduée, on a mesuré la hauteur des plants depuis le ras du sol jusqu'à l'apex (voir tableaux : 25,26,27,28,29 en annexe) .

IV-3-3-Diamètre au collet :

C'est le diamètre mesuré au niveau de la zone de séparation entre le système racinaire et la partie aérienne, la mesure à été faite à l'aide d'un pied à coulisse d'une précision de 1 / 10 mm (voir tableaux : 30,31,32,33,34 en annexe) .

IV-4-Calcul du nombre des feuilles et du nombre des branches :

L'estimation du nombre de feuilles est un bon indicateur des capacités assimilatrices de la plante est de sa production en biomasse (FISCHESSE ET DUPUIS TATE, 1996) .

Le nombre de ramifications (branches) nous permet d'avoir une idée sur la qualité du plant, l'importance est l'abondance des ramifications permettant au plants de bien s'alimenter en eau et en sels minéraux .

Le calcul du nombre de feuilles et de branche à été effectués 80 jours après le semis et cela en début, et en milieu, et en fin d'essai (03 dates différentes), et les calculs ont été effectués sur les mêmes plants utilisés pour la mesure des hauteurs et des diamètres au collet .

IV-5-Mesure de la surface foliaire :

La surface foliaire à été déterminée par la méthode traditionnelle, qui consiste à prendre la feuille du végétale (chêne-liège) sur du papier calque, qui est ensuite pesé, d'autre part on prend une surface donnée du papier calque (1 cm²) et la pesée ensuite, ou en déduit la surface assimilatrice par la formule suivante:

$$\frac{S}{P} = \frac{S_1}{F} \Leftrightarrow S_1 = \frac{S \times F}{P} \quad (\text{PAUL et al, 1979})$$

S : 1 cm² du papier calque.

P : poids en gramme de 1 cm² du papier calque.

F : poids de la feuille du chêne-liège reprenait sur le papier calque.

S : la surface de la feuille du chêne-liège recherché.

Les mesures des surfaces foliaires ont été effectués 80 jours après le semis et cela en début, et en milieu, et en fin d'essai (sur trois dates différentes).

IV-6-Le calcul du rapport hauteur / diamètre au collet :

Le calcul de ce rapport est dont le but majeur est de définir comme « plant de bonne qualité» celui qui présente un rapport (hauteur / diamètre au collet) inférieur à un certain seuil

(LAMHAMDI,2000) .(voir tableau : 8).

IV-7-Biomasse aérienne et racinaire et nombre de ramifications racinaires :

En fin d'expérimentation nous avons mesuré les biomasses, et le nombre des ramifications racinaires sur les mêmes plants utilisées pour la mesure des hauteurs, et des diamètres au collet de la manière suivante :

Le conteneur est d'abord séparé, le plant est ensuite démoté soigneusement pour garder le maximum de masse racinaire, on lave la partie racinaire pour éliminer toutes les particules susceptibles de fausser les résultats .

La partie aérienne est séparée du système racinaire à l'aide d'une lame au niveau du collet .

Pour la mesure de la biomasse, nous avons utilisé une balance de précision de 1/100 .

a)-Poids frais de la partie aérienne :

Avant le passage de la partie aérienne dans le four, on pèse son poids frais à l'aide d'une balance de précision de 1/100 .

b)-Poids sec de la partie aérienne :

Cette opération nécessite le passage de la partie aérienne à l'étuve à 105 C° pendant 24 heures puis pesée.

c)-Poids frais partie racinaire :

Après la séparation de la partie racinaire, on la pèse à l'aide d'une balance de précision et cela avant son passage à l'étuve, et on note son poids frais .

d)-Poids sec de la partie racinaire :

La partie racinaire des plants est placée dans une étuve à 105 C° pendant 24 heures, puis pesée à l'aide d'une balance de précision .

IV-8-Aspect du système racinaire et de la tige :

Dans le but de voir l'influence des différents substrats de cultures sur l'aspect du système racinaire des plants, nous avons déterrés quatre (04) plants au niveau de chaque bloc pour chaque substrat, et observé la morphologie de leur systèmes racinaires, mais pour la partie aérienne on a observés l'ensemble des plants.

IV-9-Les calculs statistiques :

Les données obtenues pour chaque paramètre, ont été interprétées statistiquement au moyen de l'analyse de la variance, on utilisant le logiciel « STATIT CF ».

Cette méthode permet de comparer les moyennes des différents types de substrats, et de chercher là où ces moyennes sont considérées comme étant égales, si au contraire, il y a une différence significative « valeur de Fisher théorique inférieure à la valeur de Fisher calculée », le test de « NEWMAN et keuls » permet de compléter l'interprétation, et d'identifier les groupes de moyennes homogènes.

.

V-Analyses physico-chimiques :

V-1-Analyses chimiques :

a) Détermination du pH :

Il est déterminé à l'aide d'un pH mètre Metrhom rapport 1/ 25, basé sur la méthode électrométrique à l'électrode de verre accouplée à une électrode de référence.

b) Détermination de la conductivité électrique :

La mesure de la conductivité électrique à une température fixée fournit un moyen rapide d'apprécier la salinité des substrats organique (GUY, 1978) .

Elle à été déterminée à l'aide d'un conductimètre Methrom, sur un extrait aqueux au rapport 1/5 .

c) Détermination du rapport C/N :

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

La matière organique = carbone x 2

d) Azote total :

L'azote total à été déterminé par la méthode Kjeldahl, l'azote assimilable est déterminé par la méthode international .

e) Calcaire total :

Le calcaire total est déterminé par la méthode volumétrique au calcimètre de Bernard sur terre tamisée à 2 mm .

f) Calcaire actif :

Le calcaire actif à été déterminé par la méthode de Drouineau- Galet .

g) Phosphore total et phosphore assimilable :

Sont déterminés par la méthode Joret –Hubert

h) Magnésium et Calcium :

Ces deux éléments sont dosés par spectrométrie à absorption atomique .

i) Potassium et sodium :

Le potassium et le sodium ont été dosés par spectrométrie à flamme .

j) La capacité d'échange cationique (C.E.C) :

La capacité d'échange cationique est déterminé par la méthode internationale à l'acétate d'Ammonium .

k) Les éléments traces :

Pour le dosage des éléments traces (métaux lourds), soient :
Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Cr, Pb, Hg, la minéralisation de la boues à été faite par l'eau régale
(mélange d'acide nitrique, et d'acide chlorhydrique), le dosage a été effectué par
spectrophotométrie d'absorption atomique.

V-2-Analyses physiques :**a) La granulométrie :**

La granulométrie à été déterminée par la méthode internationale à la pipette de
Robinson.

b) 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 connue dont ont
déterminera la masse sèche après passage du substrat dans le four à 105 C° ,et donc la
densité apparente

$$Da = \frac{\text{poids sec (g/cm}^3 \text{)}}{V \text{ cm}^3}$$

c) La porosité totale :

La porosité n'a pas pu être déterminée par la méthode au pycnomètre à eau à
cause de problème méthodologique liées à la présence de liège et de grignons d'olive,
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 (Hp) par la formule suivante: $P \% = Da \times Hp$

TROISIEME PARTIE

RESULTATS & DISCUSSIONS

I-Résultats des analyses au laboratoire :

I-1-Analyses chimiques de la boue :

Les analyses chimiques de la boue et des substrats testés dans cette expérimentation ont été réalisées au niveau des laboratoires de l'université de Batna (laboratoire de phytotechnie , foresterie, chimie des sols et laboratoire des sciences vétérinaires).Le dosage des métaux lourds a été réalisé au niveau des laboratoires d'environnement de l'université de Constantine.

Tableau 13 : analyse physico-chimiques de la boue :

Les éléments	Boue	Normes
PH	6.88	
CE mmhos / cm	2.30	
Calcaire total (%)	14.33	
Calcaire actif (%)	2.15	
Carbone total (%)	31.5	
Matière organique (%)	63	40-65 (%) (1)
Rapport C / N	10.86	
C.E.C (meq / 100g)	32	
Azote total (%)	2.90	2-2.5 (%) (1)
NO₃⁻ (%)	0.14	
NH₄ (%)	0.26	
Phosphore total (%)	0.90	0.43-0.87 (%) (1)
Phosphore assimilable (%)	0.22	
Potassium total (%)	0.17	0.16-0.40 (%) (1)
Potassium échangeable (%)	1.63	
K assimilable(mg/ 100g)	63.62	
Sodium (meq/ 100g)	1.65	
Calcium (%)	2.18	
Magnésium en ppm	920	
Fer en ppm	5160	
Zinc en ppm	210	3000 (1) 2500 (2)
Manganèse en ppm	980	800 (1)
Cuivre en ppm	570	1000 (1) 600 (2)
Chrome en ppm	54.3	1000 (1) 500 (2)
Plomb en ppm	192	800 (1) 300 (2)
Mercure en ppm	0.98	10 (1) 5 (2)

Cadmium en ppm	10.6	20 (1) 10 (2)
-----------------------	------	----------------

(1) normes d'après Lacée (1985).

(2) concentration guides, d'après Couillard et Brideau (1988).

I-2-Analyses physiques de la boue :

L'analyse granulométrique a été effectuée au niveau de laboratoire de physique des sols (université de Batna).

Tableau 14 : résultats analyses physiques de la boue

Eléments	(%)
Argile	11.57
Limon grossier	17.89
Limon fin	40.66
Sable grossier	10.59
Sable fin	19.29
Classe texturale	Limoneux fine
Porosité totale (%)	61.5
Densité apparente (g / cm³)	1

I-3-Résultats analyses physico-chimiques des substrats de culture :

Tableau 15 : Analyses physico-chimiques des substrats de culture :

Les éléments	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Témoin
PH	5.88	5.92	6	5.92	5.80	5.82	5.86	5.87	5.60
Azote total (N %)	1.57	2.41	1.82	1.57	2.38	2.48	2.06	2.03	0.07
Carbone total (%)	20.6	19.7	19	21.5	26.5	25.4	20.6	28.8	27.14
Matière organique (%)	41.6	39.40	38	43	53	50.08	41.6	57.60	54.28
C/N	13.12	8.17	10.43	13.69	11.13	10.24	10	14.37	38.77
CE (mmhos/cm)	1.4	1.3	1.2	1.8	1.44	1.6	1.44	1	0.03
CEC (meq / 100g)	17.6	16.7	16	18.5	23.5	22.4	17.6	28.8	5.8
Potassium total (%)	0.09	0.07	0.07	0.07	0.07	0.09	0.09	0.08	0.02
Phosphore total (%)	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.09
Sodium (meq/ 100g)	3.15	3.20	3.20	3.10	3.08	3.56	3.60	3.72	0.45
Calcium (%)	1.36	1.48	1.11	1.02	1.30	1.10	1.09	1.00	0.031
Calcaire total (%)	3.40	2.7	2.4	2.00	3.20	2.8	1.9	0.9	/
Calcaire actif (%)	/	/	/	/	/	/	/	/	/
Magnésium ppm	430	518	390	420	488	367	372	298	/
Porosité (%)	76.15	76.53	76.92	76.90	78.46	80	83.84	85.96	69.23
Densité apparente g/cm ³	0.62	0.61	0.60	0.60	0.56	0.52	0.42	0.39	0.80

II- Interprétation des résultats des analyses de la boue et des substrats :

II-1-Analyses physique :

II-1-1-L'analyse granulométrique :

Elle consiste à classer les éléments du sol d'après leurs grosseurs et de déterminer le pourcentage de chaque fraction . La comparaison de ces différentes fractions avec un

triangle de texture définit le type de sol (BONNEAU et SOUCHIER, 1979, MOREL,1996, SOLTNER, 2000 JONES et JACOBSEN, 2001) .

La granulométrie permet d'apprécier la perméabilité, la rétention en eau, l'aération et la capacité d'échange cationique (BAIZE, 1988) .

D'après HENIN (1969), les textures obtenus ont été regroupées en trois classes :

Tableau 16 : Répartition des différents types de texture en fonction des classes de textures

(HENIN, 1969)

Classe de texture	Type de texture
Textures fines	Argilo-sableuse, argileuse
Textures moyennes	Limoneuse fine, limoneuse
Textures grossières	Limono-sableuse, sablo-limoneuse, sableuse

On se référant au tableau cité par HENIN (1969), on peut classer notre boue dans la classe des textures moyennes (limoneuse fine).

D'après CONTENIE (1976), les textures moyennes ne provoquent pas l'asphyxie du système racinaires et permettent un bon développement des racines, une texture lourde par contre peut entraîner les phénomènes d'asphyxie radriculaire.

Le mélange de la boue qui présente une texture moyenne avec un deuxième composant ayant une texture grossière (granula de liège, la taille des particules varient de 2 à 6 mm, pour le grignon d'olive la taille des particules varient de 1 à 4 mm), nous permet de dire que les substrats testés présentent une texture de moyenne à grossière .

II-I-2-Porosité totale :

La boue présente un bon taux de porosité , il est de l'ordre de 61,9 %. Pour les différents substrats testés, ils présentent des valeurs de porosité très élevées.

La valeur la plus élevée est enregistrée par le substrat 8 avec 85.26 %, même pour les autres mélanges, les valeurs sont toutes supérieures à 75 % , sauf pour le témoin qui présente une valeur inférieure à 70 %.

II-3-Taux de germination :

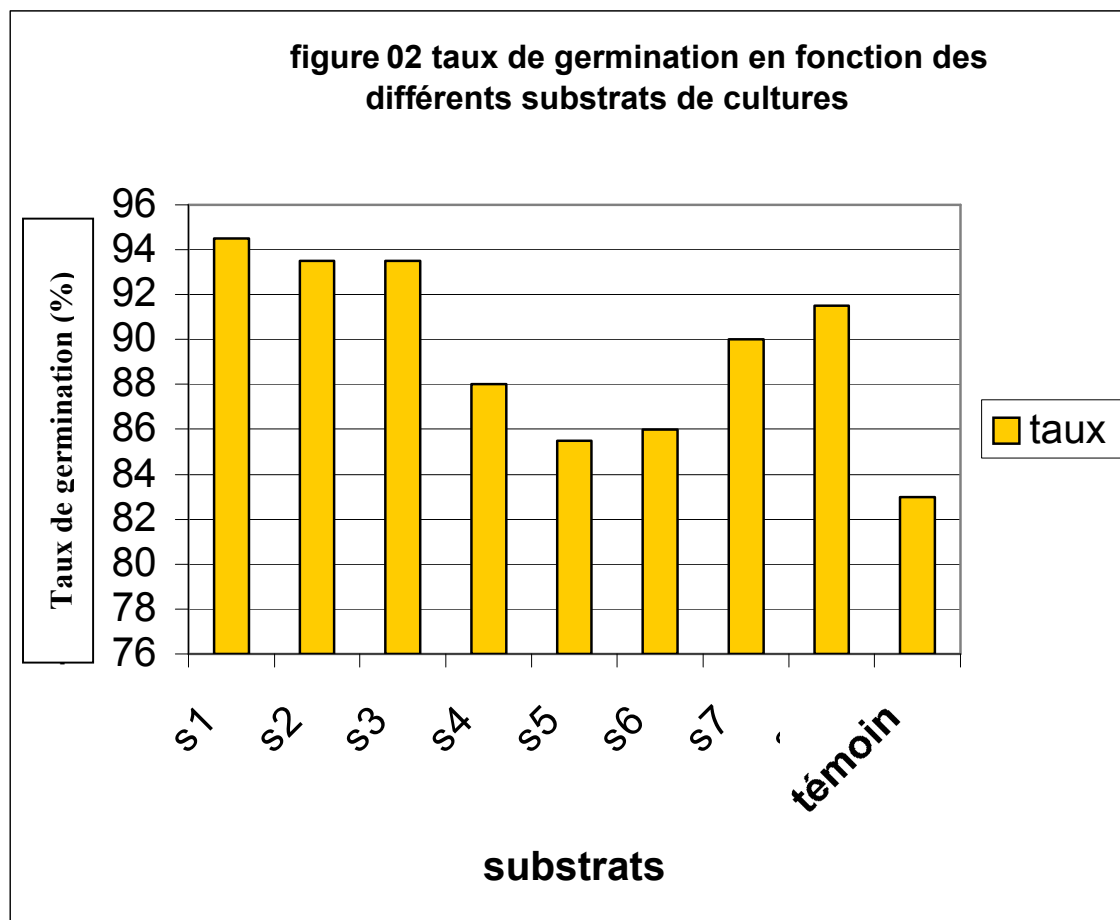
La levée constitue un premier diagnostic de réussite d'une culture, une mauvaise levée peut avoir plusieurs causes liées à la conduite culturale (semis trop profond, ou trop superficiel), climatique (gel hivernal), parasitaire...etc.

Le comptage des glands germés pour les neuf substrats (traitements) a débuté à partir du dixième jour après le semis, au bout de deux mois, après la levée de la plupart des plants, le pourcentage de la germination pour chaque substrat est déterminé comme suit :

$$\text{Taux de germination} = \frac{\text{nombre des glands germés}}{\text{nombre des glands semés}} \times 100$$

le tableau 22 : taux de germination en fonction des substrats de cultures.

Substrats	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	témoin
Taux de levée%	94.5	93.5	93.5	88	85.5	86	90	91.5	79.5



A partir du tableau 22 et la figure 02 : on peut constater que le taux de germination des plants le plus élevé est enregistré par le substrat1 avec un taux de 94.5 % suivit des substrats S2, S3, S8, S7, S4, S6, S5, et le témoin avec respectivement les taux 93.5 %, 91.5 %, 90 %, 88 %, 86 %, 85.5 %, 83 %, et 79.5 % pour le témoin, qui est le taux le plus faible.

Les chercheurs de CEMAGREF(1983),(HASSNAOUI,1992), signalent que quand le taux de germination est supérieur à 85 %, on considère que la germination est satisfaisante.

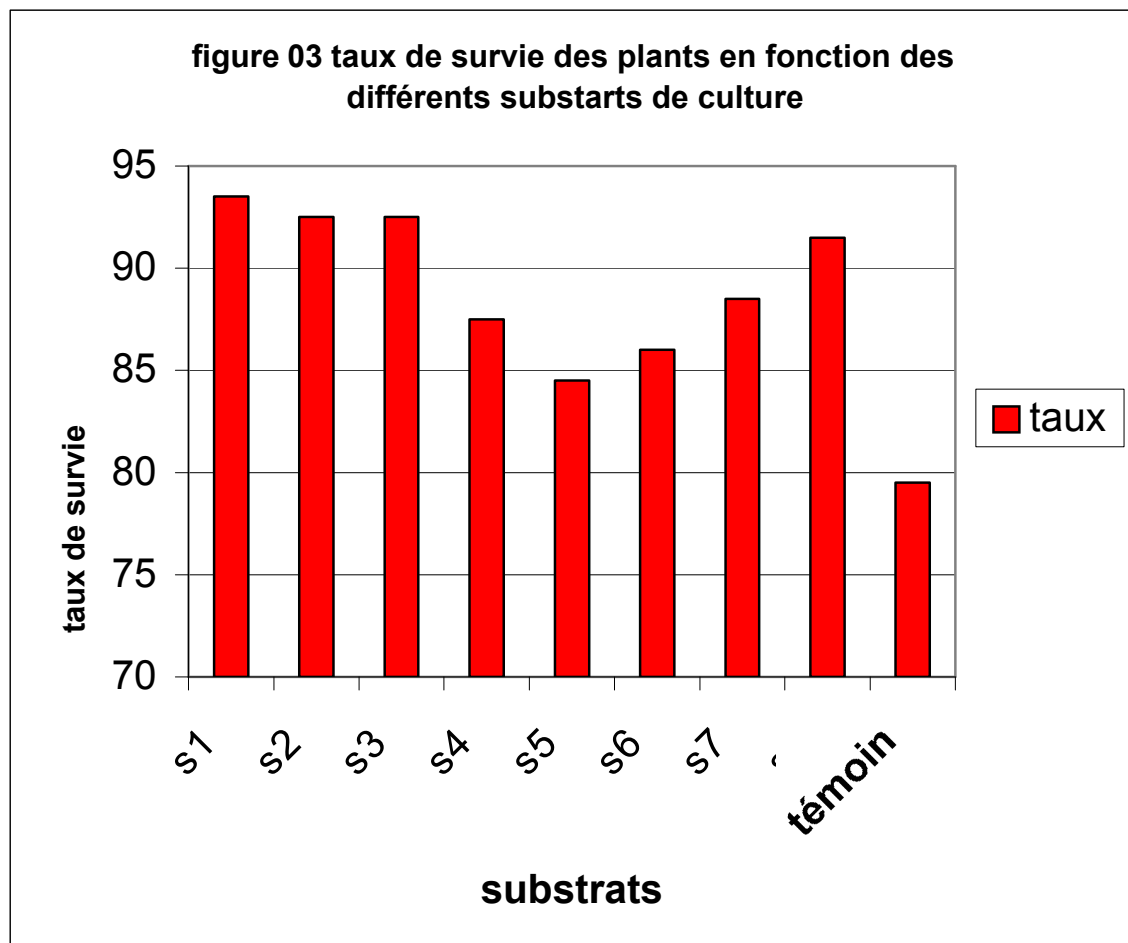
Tous les substrats testés présentent un taux de germination satisfaisant, sauf pour le témoin qui présente un taux inférieur à 85 %,mais qui reste quand même appréciable.

II-4-Taux de survie :

Après six mois de la date de semis on à effectués un comptage des plants qui sont encore en vie afin de déterminer le taux de réussite de ces plants sur les différents substrats testés.

Tableau 23 taux de survie des plants de chêne-liège en fonction des différents substrats testés :

Substrats	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Témoin
Taux de survie %	93.5	92.5	92.5	87.5	84.5	86	88.5	91.5	79.5



comme l'indique Le tableau 23 et la figure 04 :

le taux de survie le plus élevé est enregistré au niveau du substrat 1 avec 93.5 %, ensuite viennent les substrats S2, S3, avec les valeurs de 92.5 %, le taux de survie le plus bas est marqué par le témoin avec 79.5 %.

II-5-Action des substrats sur les caractéristiques morphologiques des plants :

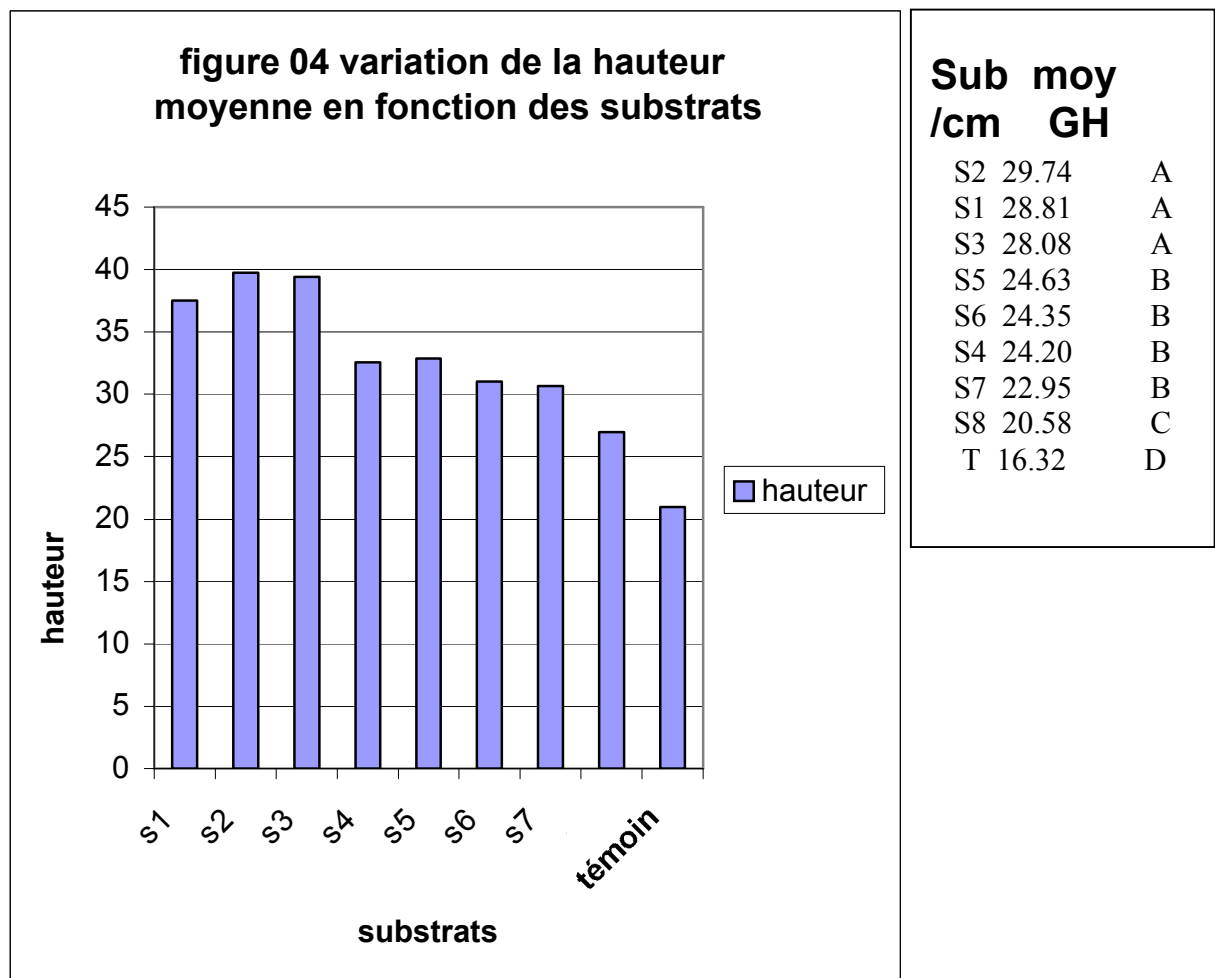
La croissance désigne les changements quantitatifs irréversibles des plantes, qui se produisent au cours du temps (MAZLIAK, 1982 et ZARNOVICAN, 1983), cette croissance est assurée par un méristème apical, et son développement est caractérisé par une alternance de périodes d'allongement et de repos (THIEBAUT et al, 1990).

lors de son développement, la tige s'allonge et s'épaissit, la croissance en longueur est alors assurée par un double processus de production et d'élongation cellulaire. La partie qui s'allonge s'appelle unité de croissance (CHAAR et COLIN 1999).

Ce phénomène de croissance est la plupart du temps, marqué par une alternance de phase d'activité, et de l'absence d'allongement, on parle alors de croissance rythmique (ALATOU, 1990, DEREFEYE, et al 1989), ZARNOVICAN(1983) rajoute que la croissance apicale est un reflet de la qualité d'une station ou de sa fertilité.

II-5-1-Croissance en hauteur :

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau : 63) montrent qu'il y a une différence significative pour ce paramètre ($f_{calculer} > f_{théorique}$) le test NEWMAN et KEULS au seuil de 5 % fait ressortir 4 groupes homogènes :

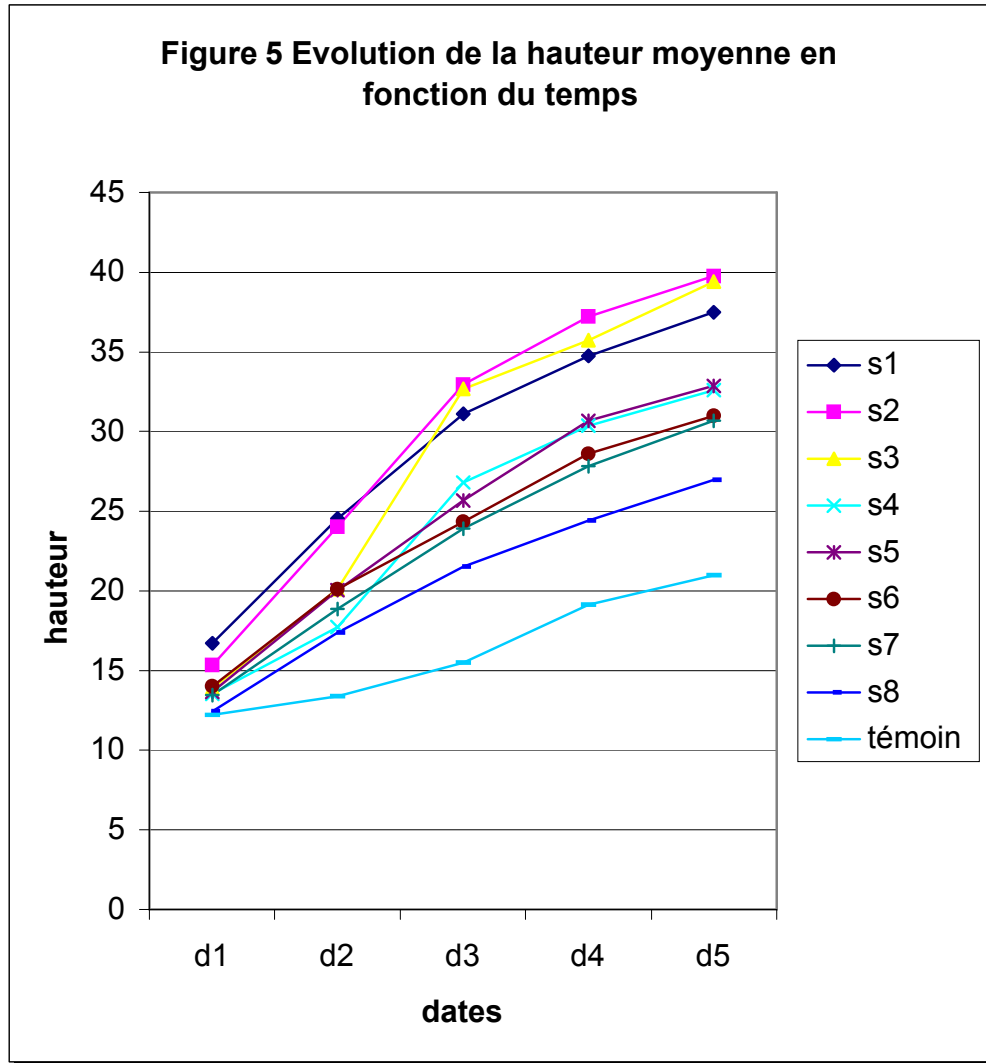


un groupe dominant représenté par les substrats (S2, S3, S1), en suite vient un deuxième groupe représenté par les substrats (S5, S6, S4, et S7), vient ensuite un troisième groupe représenté par le substrat 8, et en fin, un dernier groupe qui représente la valeur de la hauteur moyenne la plus faible du témoin avec 20,99 cm, la valeur la plus élevée est représentée par le substrat S2 avec 39,74 c

II-5-2-Accroissements cumulés en hauteur:

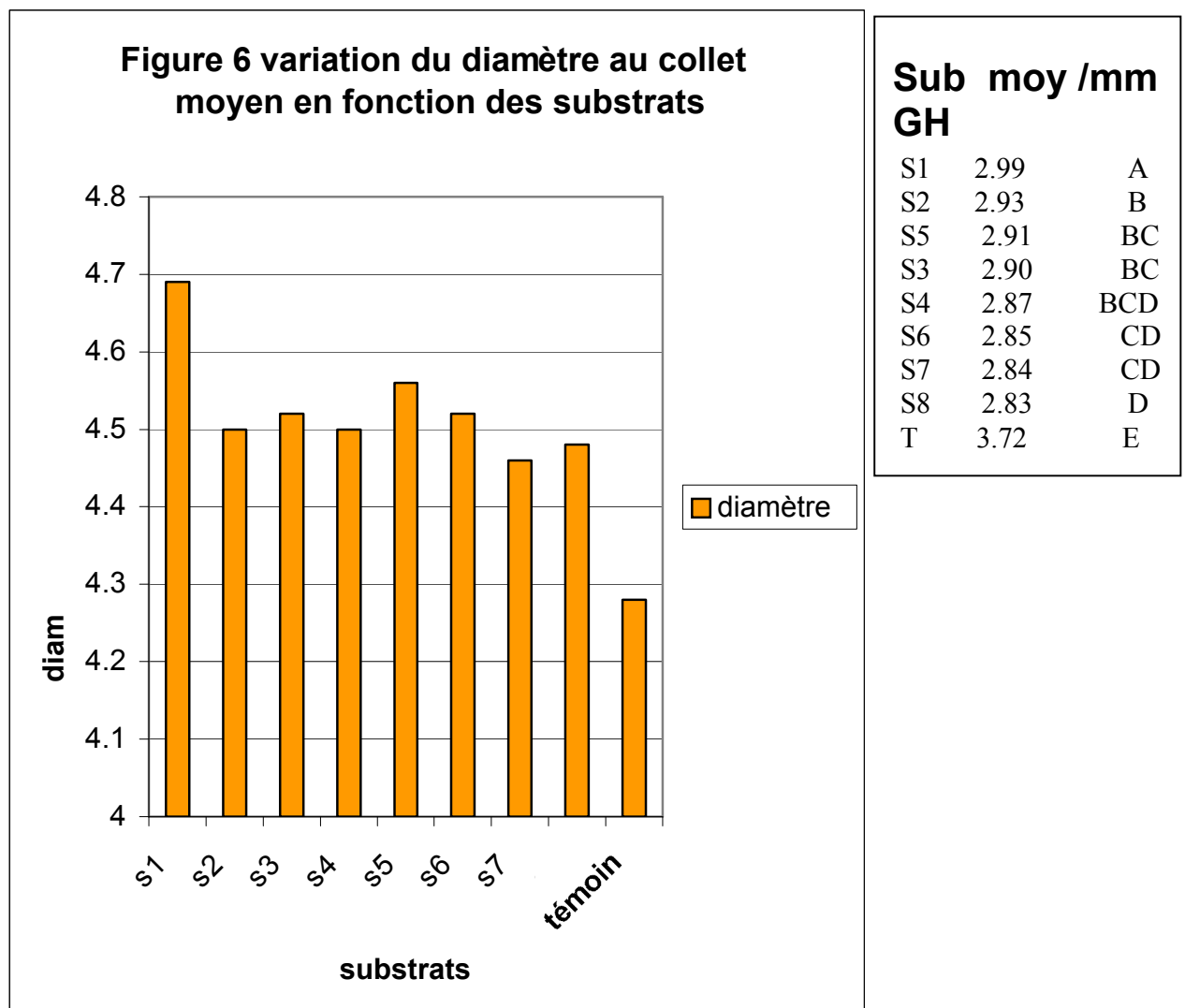
La figure de la croissance mensuelle en hauteur montre que les courbes de croissances présentent une allure sensiblement identique avec des différences très importantes entre les substrats et le témoin, la croissance en hauteur moyenne augmente rapidement du mois de Mai jusqu'à la fin de Juin, elle subit un ralentissement des le début de juillet jusqu'à la fin Août début de Septembre ce phénomène s'expliquerait

d'après (BELABBAS, 1994) et (PIZET et SIMOUHAMED, 1988) par les fortes températures qui provoquent le développement des ramifications latérales, qui occasionnent le ralentissement de la croissance apicale.



II-5-3-Croissance en diamètre:

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 64 : en annexe) montrent qu'il y a une différence significative pour ce paramètre, le test de NEWMAN et KEULS au seuil de 5 %, fait ressortir sept groupes homogènes distingués :

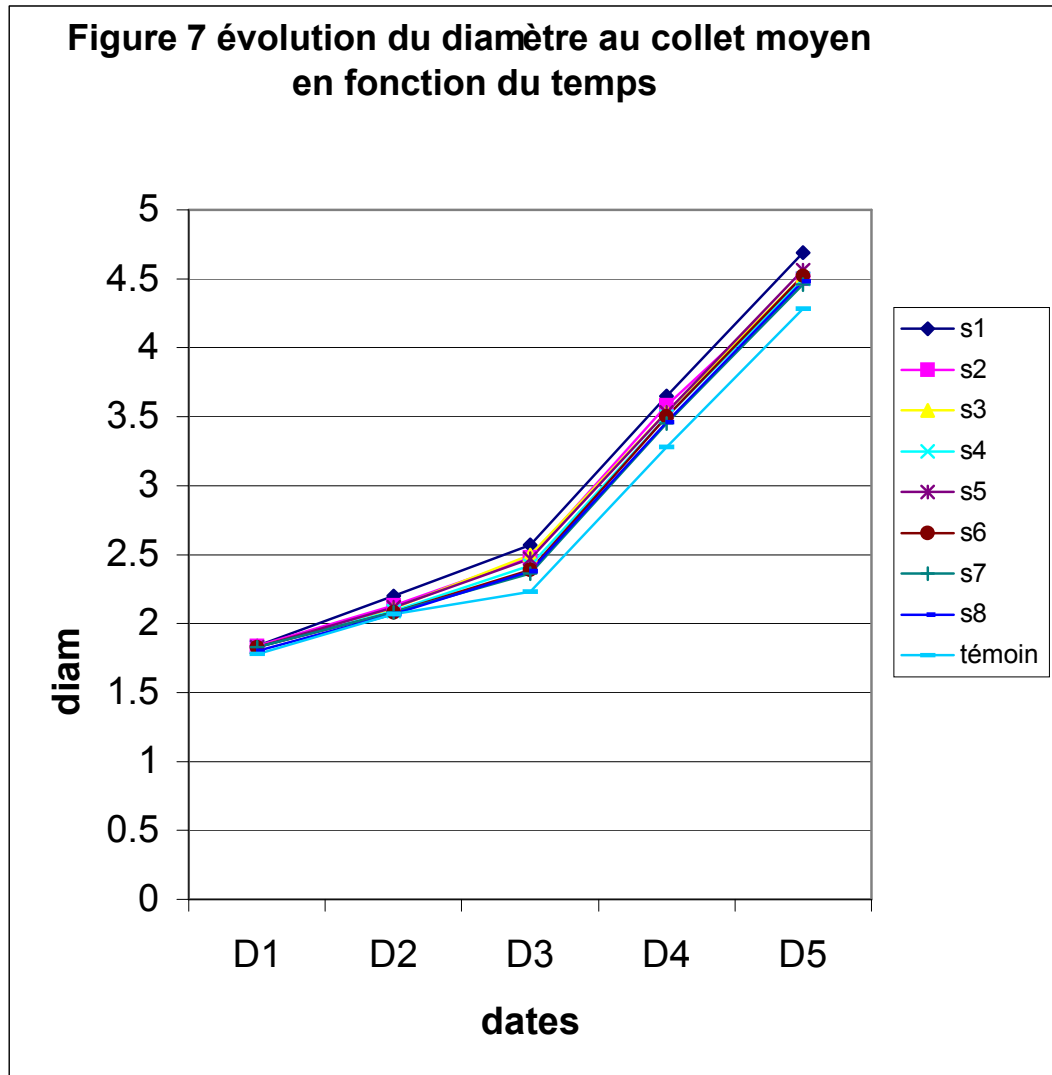


Un groupe dominant représenté par le substrat 1 avec une moyenne de 4.69mm ensuite vient un deuxième groupe représenté par le substrat 2 avec une moyenne de 4.60mm, un troisième groupe représenté par les substrats 5 et 6, la valeur la plus basse est représenté par un dernier groupe qui est le témoin avec une moyenne de 4.28mm.

les chercheurs du CEMAGREF (1983), soulignent que le développement en diamètre est fonction de la masse foliaire, contrairement à la variation de la hauteur moyenne.

II-5-4-Accroissement cumulé en diamètre:

La figure 7 de la croissance mensuelle en diamètre montre que les accroissements en diamètres pour les différents substrats suivent la même allure que celle de la croissance en hauteur moyenne.

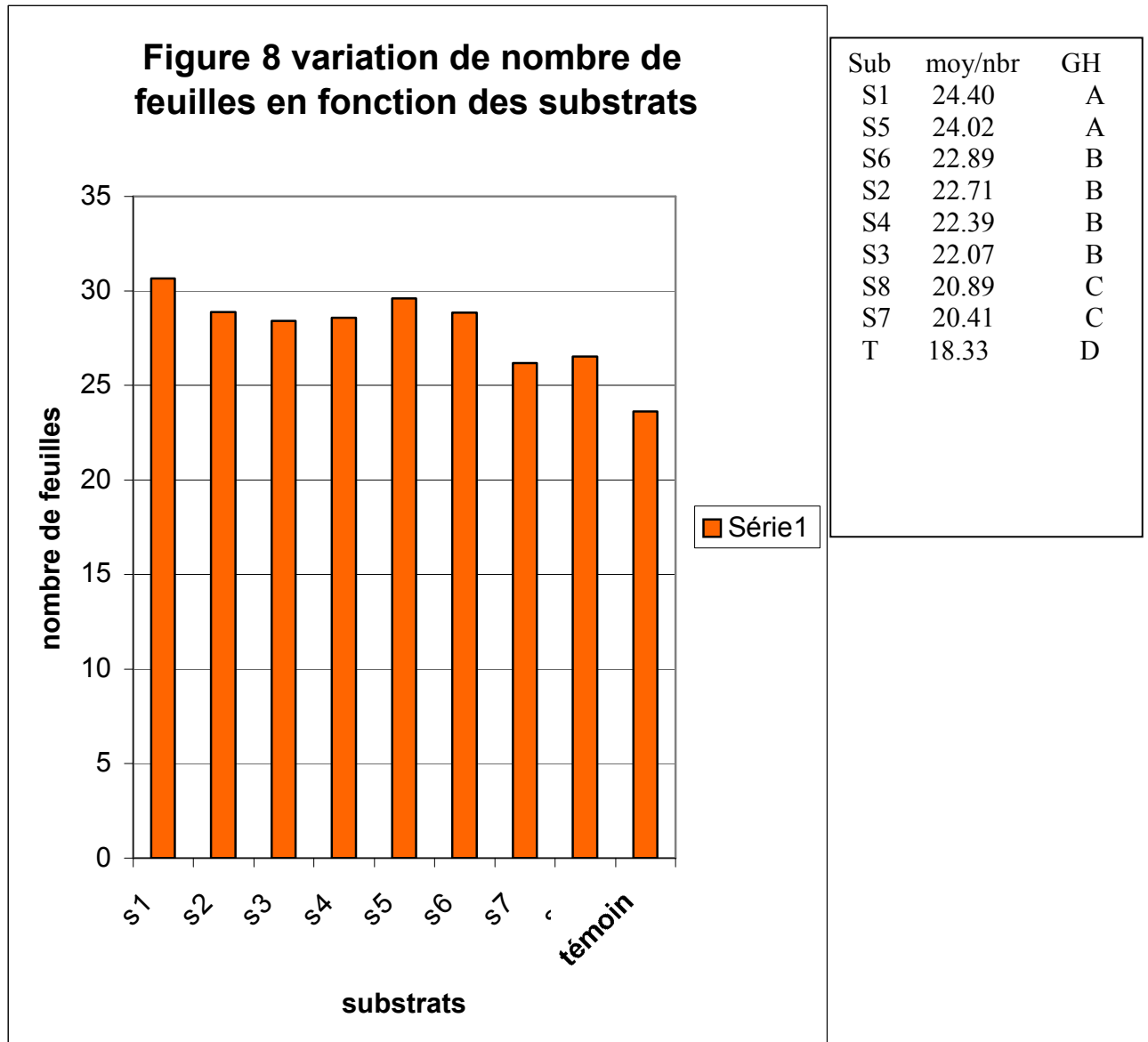


Contrairement à la croissance en hauteur, nous remarquons que la croissance moyenne en diamètre est très faible entre les mois de mai et juillet, puis elle devienne importante.

II-5-5-Action des différents substrats sur le nombre de feuilles :

La figure 8 montre que le nombre de feuilles est variable en fonction du type de substrat,

c'est résultats sont confirmés par l'analyse de la variance qui montre qu'il y a une différence significative entre les substrats, le teste de NEWMAN et KEULS au seuil de 5 % fait ressortir quatre groupes homogènes :

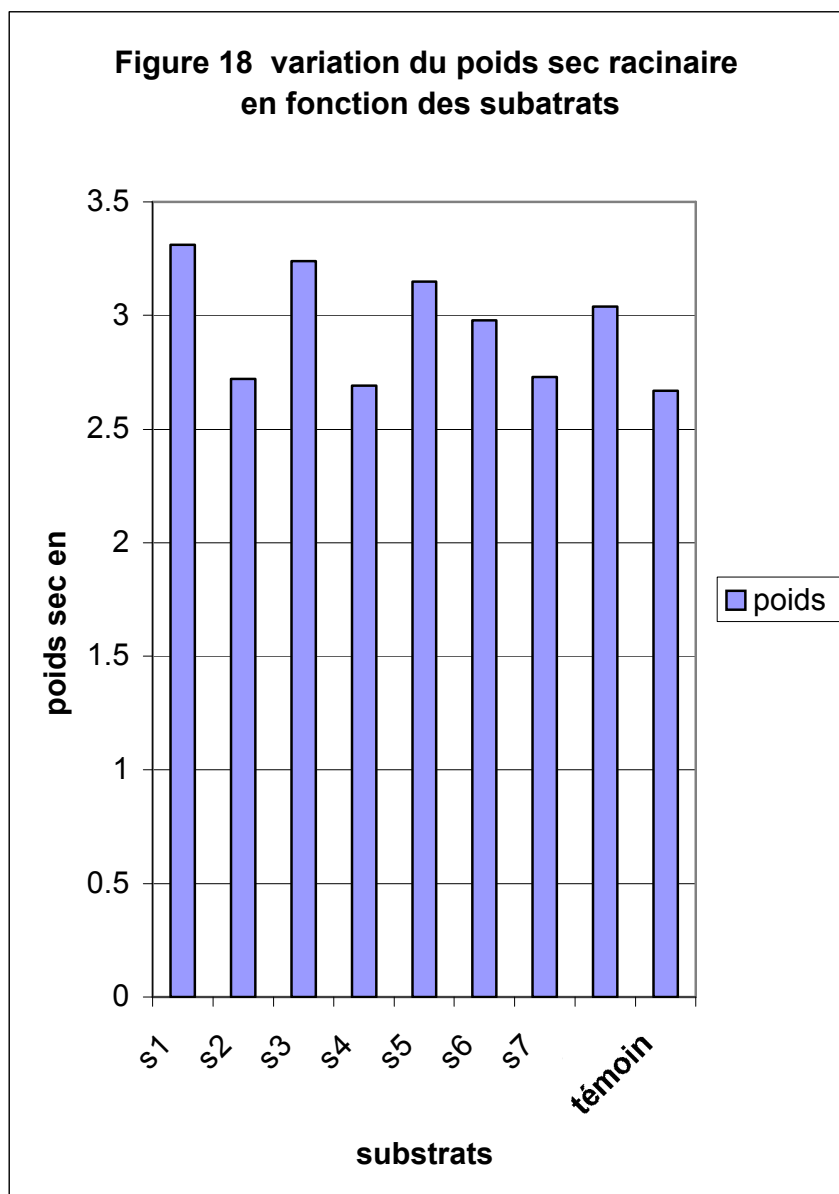


un groupe dominant représenté par les substrats S1 et S5 avec les valeurs respectivement 30.66 et 29.60 feuilles, ensuite vient un deuxième groupe représenté par

les substrats S6, S2, S4, S3, et un troisième groupe représenté par les substrats S8, S7, et enfin un dernier groupe qui est le témoin avec une valeur de 23.64 feuilles.

II-6-4-Poids sec de la partie racinaire:

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 73 en annexe) montrent que le test est non significatif pour ce paramètre, la valeur de f calculé est inférieure à f théorique.

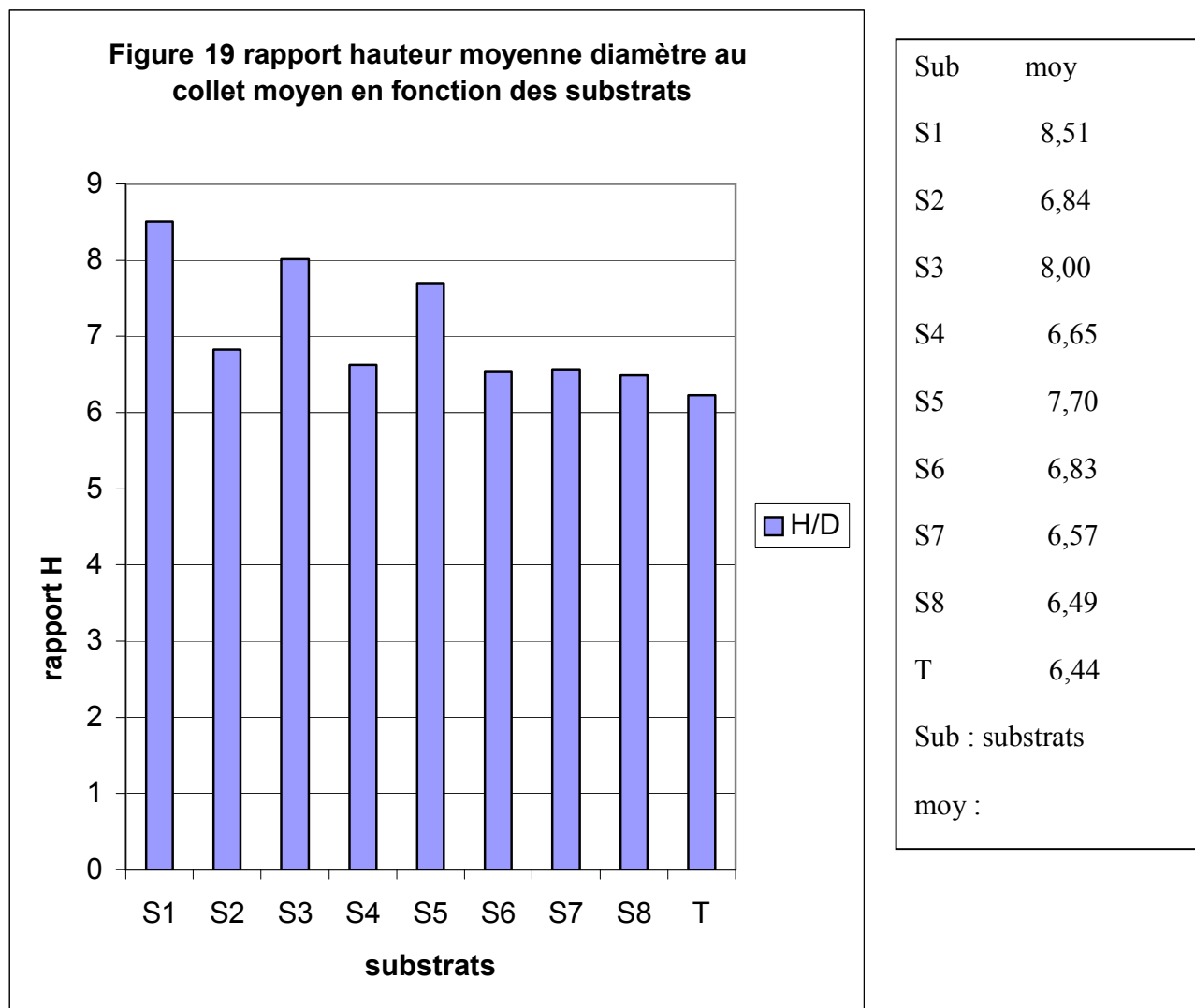


Sub	moy / g
S1	3,31
S2	2,72
S3	3,24
S4	2,90
S5	3,16
S6	2,98
S7	2,73
S8	3,05
T	2,67
Sub : substrats	
moy : moyenne (gramme)	

La valeur la plus élevée est enregistrée par le substrat 1 avec 3,31 g, et la valeur la plus faible est enregistrée par le témoin avec 2,67 g, la croissance racinaire des plants dans les différents substrats testés est conditionnée dans des conteneurs « WM » qui permettent un autocernage des racines, et par conséquent, la croissance racinaire sera limitée .

II-7-Rapport de la hauteur de la partie aérienne et diamètre au collet :

Les résultats de l'analyse de la variance (tableau 73 en annexe) montrent que le test est non significatif pour ce paramètre, la valeur de f calculé est inférieure à f théorique.



La valeur la plus élevée est enregistrée par le substrat1 avec 8,51, et la valeur la plus faible est enregistré par le témoin .

II-8-Déformations observées chez les plants de chêne-liège :

Tableau 24 : Déformations observées chez les plants de chêne-liège

Substrats	<i>Types de déformations</i>											
	Division du pivot		Cross au niveau du collet		Tiges enroulées		Tiges multiples		Enroulement du collet		Pivot tordu	
	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Substrat1	1	5	1	5	0	/	1	5	0	/	3	15
Substrat2	1	5	0	/	0	/	1	5	0	/	2	10
Substrat3	2	10	2	10	1	5	1	5	0	/	3	15
Substrat4	1	5	0	/	0	/	2	10	0	/	6	30
Substrat5	2	10	3	15	0	/	1	5	0	/	6	30
Substrat6	1	5	4	20	2	10	2	10	0	/	4	20
Substrat7	2	10	1	5	0	/	1	5	0	/	3	15
Substrat8	1	5	2	10	1	5	1	5	0	/	4	20
Témoin	11	55	8	40	3	15	1	5	0	/	8	40

-N : Nombres d'observations

-% : Pourcentage rapporté au total des plants observés (20)

D'après le tableau 24 : les déformations observées chez les plants de chêne-liège sont :

a) Le pivot tordu:

Le taux le plus élevé est enregistré par le témoin avec 40 %, et la plus faible valeur de déformations est enregistrée par le substrat 2 avec un taux de 10 %.

b) Division du pivot :

Le taux le plus élevé est enregistré par le témoin avec 55 %, les substrats S2, S1, S4, S6, S8 présentent des taux très faibles par rapport au témoin .

c) Crosse au niveau du collet :

Le taux le plus élevé est marqué par le témoin avec une valeur de 40 %, ce type de déformation est absent au niveau du substrat 2, et substrat 4.

d)Tige multiple :

Le taux le plus élevé est marqué par les substrats 4 et 6 avec des taux de 10 %, le reste des substrats présentent des taux de 5 %.

III-Discussion des résultats :

III-1-Analyses physico-chimiques de la boue:

Les résultats de l'analyse de la boue issue de la station d'épuration des effluents urbains de la ville de Setif, ont montré que cette boue est très riche en matière organique avec une valeur de 63 %, d'après les normes AFNOR citées par Lacée (1985) une valeur de 40 à 65 % semble très bonne pour une valorisation de cette boue en milieu forestier ou agricole.

Les boues résiduaire sont des fertilisants organiques et libèrent leurs éléments nutritifs (N,P,K) lentement (GRENIER, 1989).

Pour l'Azote total les résultats de l'analyse de la boue montrent que celle ci est très riche en Azote total, et que sa concentration se situe au tour des normes citées par Lacée (1985) (2 à 2,50 %), qui permet leur utilisation dans le domaine agricole ou forestier. Quant au phosphore total, sa teneur se situe aussi au tour des normes citées par le même auteur (0,43 - 0,87 %) qui la rend aussi valorisable dans le milieu agricole ou forestier. Même pour le potassium qui présente une valeur admissible pour sa valorisation selon le même auteur.

Pour les métaux lourds, à savoir le Zinc, Cuivre, Chrome, Plomb, Cadmium, Mercure et Manganèse, ont des teneurs largement inférieures à celles indiquées par LACEE (1985) et COULLIARD et BRIDEAU, (1988) et qui les rendent utilisables dans le domaine agricole ou forestier.

Pour la porosité totale la boue présente une porosité assez importante, elle est de l'ordre de 61,5 %.

Pour le pH la boue présente un pH voisin de la neutralité, il est de 6.88, selon CALLOT et al, (1982), c'est avec un pH voisin de la neutralité que l'on a le maximum d'éléments disponibles.

Le rapport C/N présente une valeur qui indique une bonne minéralisation de la matière organique et une disponibilité en azote pour la plante.

Pour le calcaire total, notre boue est modérément calcaire, mais elle présente une valeur très faible en calcaire actif, inférieur au seuil critique cité par DROUINEAU, (1979).

Selon l'échelle de salinité, notre boue est salée, elle présente une valeur de C.E.C élevée.

La boue résiduaire issue de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Setif a subi plusieurs traitements qui ont donné une boue qui présente des qualités qui permettent sa valorisation en milieu forestier. Le point le plus important à considérer est que les boues doivent être stabilisées avant de servir à quelque valorisation que ce soit (GRENIER,1989).

L'objectif de cette stabilisation, qui est la décomposition des produits fermentescibles, POMEL (1979), vise principalement à diminuer le nombre d'organismes pathogènes présents dans la boue, et les concentrations élevées en éléments chimiques qui risquent de provoquer des phénomènes de toxicité chez la plante. Donc de la nature et la composition des boues va dépendre le type de traitement appliqué à cette boue, par exemple les traitements biologiques produisent des boues d'épuration dites primaires ou secondaires, selon le point d'où elles sont retirées dans la chaîne de traitement (COUILLAR D, 1988). Comme fertilisant, les boues secondaires sont plus riches que les boues primaires (POMEL, 1979), les boues produites en aérobie sont plus riches que celle produites en anaérobie (BRIDEAU,1986).

La déshydratation par séchage de la boue fait perdre une partie de l'azote par volatilisation (GRENIER,1989), donc elle fait diminuer les taux élevés en azote que possèdent les boues.

III-2-Analyses physico-chimiques des substrats :

Le mélange de la boue avec un deuxième composant (aérateur) grignon d'olive, granula de liège a amélioré la porosité de la boue, elle était d'une valeur de 61,5% (boue seule) et après le mélange avec l'aérateur, elle est devenue supérieure à 75 %, tous les substrats testés présentent un taux de porosité supérieur à 75 %, qui concorde avec les normes données par LEMAIR et al (1990), qui ont signalé que les substrats doivent avoir

une porosité comprise entre 75 % et 95 %, sauf pour le témoin qui présente une valeur inférieure à 70%.

Pour la matière organique tous les substrats sont riches, ils présentent des valeurs qui varient entre 38 % pour le substrat 6, et 57,60 % pour le substrat 5.

Pour le pH tous les substrats présentent un pH légèrement acide, la valeur la plus élevée est marquée par le substrat 3 avec 6 et la valeur la plus acide est marquée par le témoin avec 5,60.

Pour le calcaire, tous les substrats sont non calcaire, ils présentent des valeurs très faibles, inférieures au seuil indiqué par BAIZE (1988) .

Pour le rapport C/N, la majorité des substrats présente des valeurs qui indiquent une disponibilité en azote pour la plante, surtout le substrat 2 qui offre une grande disponibilité en azote pour la plante $C/N = 8$, sauf le témoin qui présente une valeur assez élevée, qui indique une mauvaise activité biologique, et une mauvaise minéralisation de la matière organique, et donc moins d'azote disponible pour la plante.

Tous les substrats présentent des teneurs assez importantes en éléments fertilisants (N.P.K), qui sont nécessaires à la croissance des plants, sauf pour le témoin qui présente des qualités médiocres.

Nos résultats montrent que la levée des semis de chêne-liège est très importante au niveau des substrats testés surtout pour les substrats 1,2 et 3 avec des valeurs respectivement de 94,5 % et 93,5 %, le taux de germination de tous les substrats est supérieur à 85 %, ces résultats sont en accord avec ceux du CEMAGREF, (1983) et HASSNAOUI, (1992) qui considèrent que le taux de germination est satisfaisant à partir de 85 % sauf le témoin qui présente une valeur inférieure à 85 %.

Les résultats montrent que la croissance en hauteur est plus élevée respectivement au niveau du substrat 2, avec une moyenne de 39,74 cm, le substrat 3 avec 39,40 cm, et le substrat 1 avec 37,50 cm, les valeurs les plus faibles sont enregistrées par le témoin avec 20,99 cm et le substrat 8 avec 26,97 cm.

Pour l'espèce *Quercus-suber* les normes de croissance en hauteur données par MOHAMED LAMHAMED, (2000) après 06 mois d'élevage en pépinière de plants de chêne-liège sont de 28 à 40 cm, donc les substrats 8 et le témoin sont à exclure de la norme de qualité par ce qu'ils présentent des valeurs moyennes en hauteur inférieures à

celles citées par la norme. La croissance en hauteur est très importante du mois de mai jusqu'à la fin de juin, puis elle subit un ralentissement dès le début de juillet jusqu'au début de septembre et selon BELABASS (1994) et PIZET (1988), ce phénomène s'expliquerait par les fortes températures qui provoquent le développement des ramifications latérales qui occasionnent le ralentissement de la croissance apicale.

Les résultats montrent aussi que la croissance en diamètre suit la même allure que la croissance en hauteur, la valeur la plus élevée est enregistré par le substrat 1 avec 4,69 mm, et la valeur la plus faible est marquée par le témoin avec 4,28 mm, cependant la norme de croissance en diamètre donnée par MOHAMED LMHAMED (2000) pour cette espèce est de 4 à 5 mm, donc tous les substrats présentent des valeurs de croissance acceptables.

Le nombre des feuilles est variable entre les substrats testés, le plus grands nombre de feuilles par plant est observé chez le substrat 1 et 5 avec des valeurs respectivement 30,66 et 29,60, par contre au niveau du témoin, le nombre des feuilles est réduit à 20,64, à cause peut être des qualités physiques et chimiques médiocres par rapport aux autres substrats, qui ne permettent pas aux plants de s'approvisionner correctement en eau et en sels minéraux. L'analyse de la variance montre une différence significative, la comparaison des moyennes révèle l'existence de quatre groupes homogènes, le premier groupe comprend les substrats 1 et 5, le deuxième groupe comprend les substrats 6,2,4 et 3, les substrats 8 et 7 constituent le troisième groupe, le témoin constitue le dernier groupe.

Le nombre de feuilles est un bon indice d'une bonne alimentation en eau et en sels minéraux et une bonne production en biomasse par la plante (DUPUITATE, 1996).

Pour la surface foliaire nous avons deux groupes, un groupe dominant représenté par le substrat 1 avec 12,36 cm et un deuxième groupe représenté par le reste des substrats, peut être ce paramètre est sous contrôle génétique.

Pour le nombre de branches, les résultats de l'analyse de la variance montrent qu'il y a une différence significative, la comparaison des moyennes fait ressortir 06 groupes homogènes, le groupe dominant représenté par les substrats 1 et 2, avec respectivement les valeurs 5,42 et 4,96, et un dernier groupe représenté par le témoin avec une valeur de 1,12.

III-3-Action des substrats sur les caractéristiques pondérales des plants :

La biomasse sèche peut être définie comme le reflet des réserves accumulées préalablement et résultent de l'activité photosynthétique (MAZLIAK,1982).

Les résultats de l'analyse de variance montrent qu'il y a une différence significative pour le poids sec de la partie aérienne, la comparaison des moyennes fait ressortir 6 groupes homogènes, un groupe dominant représente la valeur la plus élevée par le substrat 2 avec une valeur de 6,35 g, la valeur la plus faible représentée par le témoin avec 5,29 g. Pour le poids sec de la partie racinaire, les résultats de l'analyse de la variance montrent que le test est non significatif, f calculé est inférieur à f théorique, la croissance des racines est conditionnée dans des conteneurs sans fonds qui vont permettre leurs autocernage, donc la croissance en longueur des racines sera limitée et tous les plants auront presque la même longueur, la valeur du poids sec racinaire la plus élevée est marquée par le substrat 1 et la plus faible par le témoin.

Pour le nombre de ramifications racinaires, l'estimation de ce paramètre nous permet d'avoir une idée sur la qualité du plant, l'importance et l'abondance des ramifications racinaires permettent aux plants de bien s'alimenter en eau et en sels minéraux .

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence significative pour ce paramètre, la comparaison des moyennes fait ressortir 7 groupes homogènes, un groupe dominant représenté par le substrats 1 avec 50,18, un deuxième groupe représenté par le substrat 2 avec 48,78, et un dernier groupe représenté par le témoin avec 33,92 ramifications.

Tableau 25 : normes préliminaires de qualification des principales essences forestiers

(MOHAMED LAMHAMDI, 2000)

Paramètres	P pinea	P halepensis	Qurcus-suber
Hauteur (cm)	25 - 30	25 - 30	28 - 40
Diamètre	3- 5	3- 5	4- 5
Rapport H/D	< 7	< 7	< 8
Rapport tige/racine	3- 4	3- 4	3- 4

Pour le rapport hauteur de la partie aérienne / diamètre au collet, d'après les normes citées si dessus, nous pouvons constaté ce qui suit :

Le substrat 1 représente un rapport H/D supérieur à la norme ($H/D = 8,51$), cette valeur n'est pas trop élevée par rapport à la norme.

Les autres substrats présentent des valeurs de H/D à la norme citée ci dessus ($H/D < 8$).

D'après le tableau 8 nous pouvons conclure ce qui suit :

Le substrat 1 présente un rapport H/D supérieur à celui cité par la norme, le substrat 8 présente une valeur de la hauteur moyenne de la partie aérienne 26,97cm qui est inférieur à celle indiquée par la norme (28-40 cm), même chose pour le témoin qui présente une valeur de 20,96 cm cette valeur est inférieure à la norme.

Le reste des substrats présentent des valeurs qui se situent dans les normes avec une dominance du substrat 2 .

L'utilisation des conteneurs « WM » ont minimisés les déformations racinaires rencontrées généralement dans le sachet polyéthylène, le substrat 2 présente moins de

déformations par rapport au autres substrats, c'est le témoin qui présente le plus de déformations .

Conclusion générale

Les résultats obtenus à l'issue de l'étude, montrent que la boue résiduaire issue de la station d'épuration des eau usées de la ville de Setif, présente des qualités, et des caractéristiques permettant de la valoriser en pépinières forestières.

Son utilisation, en mélange pour la confection d'un substrat de culture, en pépinières hors sol est envisageable, pour ces éléments fertilisant, azote , phosphore, et la matière organique qu'elle apporte.

L'emploi des boues, pourra être conseillé, chaque fois que le respect des normes en métaux lourds aura été vérifié, c'est un critère primordiale dans le choix de l'utilisation des différentes boues.

L'emploi de substrats à base de boues donnent, des taux de germinations très satisfaisants, le témoin à donné le taux le plus faible.

Concernant les paramètres bio métriques exprimés statistiquement, on a trouvé que les substrats à base de boues, présentent un matériau fertilisant permettent d'obtenir des caractères de croissance a savoir, la croissance en hauteur, en diamètre, nombre de feuilles, nombre de branches, nombre de ramifications racinaire, surface foliaire, comparativement supérieur au témoin (substrat classique utilisé en pépinières forestières en Algérie), avec une supériorité des substrats s1 et s2, même pour les paramètres physiologiques les substrats à base de boues, ont donné les meilleurs résultats par rapport au témoin.

Il faut impérativement orienter les chercheurs, sur les moyens efficaces de diminution d'agents jugés polluants et toxiques, tels que les métaux lourds, et les germes pathogènes, ces recherches s'inscrivent dans un cadre bien établi à court et à long terme.

La majorité des substrats à base de boues, nous ont permis de produire des plants dans les normes, le substrat 1 présente, un rapport hauteur diamètre au collet supérieur à la norme, il est judicieux de l'utiliser avant même qu'il arrive à ce stade, ceci

permettra d'avoir des plants, précoces avec une durée de séjours en pépinière écourtée, et par conséquent, une réduction du coût de production des plants en pépinière.

L'analyse des paramètres bio métriques, et physiologique des plants, à permis de classer la qualité des substrats testés, en premier lieu on peut dire que les substrats S2 et S1 ont donné les meilleurs résultats bio métriques, et physiologiques, Ces substrats ont pour constituants : substrat 2 (40 % boue + 60 % grignons d'olive), substrat 1 (50 % boue + 50 % grignons d'olive), ce qui prédestinent leur utilisation en priorité en pépinières hors sol pour la production des plants de chêne-liège.

Notre étude a été orienté sur la valorisation des boues résiduaire urbaines en pépinière hors sol, mais elle ne prenne pas en compte l'effet de celle ci sur le milieu naturelle. Ce dernier objectif dépasse largement le cadre de notre travail, on préconise d'autres études, qui porteront sur le devenir des métaux lourds dans l'écosystème forestier.

Pour pouvoir trancher définitivement la question de l'effet du substrat sur la qualité des plants, on recommande un suivi de ces derniers après plantation. (reboisement) .

Une étude plus poussée, qui portera sur la qualité biologique des substrats à base de boues, semble indispensable pour prévenir les risques des maladies, et résoudre les problèmes liés à son utilisation.

Il faut noter que les boues sont des fertilisants organiques, et que leur valorisation en milieu forestier est très importante, puisque elles donnent un plus à la production ligneuse, et qu'avant leur utilisation, il faut qu'elles subissent des traitements de stabilisation .

Les boues doivent avoir fait l'objet d'un traitement, permettant de réduire, de façon significative, les risques sanitaires liés à leur utilisation. Les teneurs en éléments traces métalliques, doivent être constamment contrôlées.

Il est essentiel de garantir la régularité de la composition de boues pour répondre parfaitement aux besoins des cultures.

Quelque soit le type de boues, les problèmes de fermentescibilité, doivent être rigoureusement maîtrisés, afin d'éviter la gêne occasionnée par les odeurs. Le

compostage de la boue donne un produit de grande valeur agronomique, dont l'innocuité microbiologique est garantie, et dégage peu de nuisances olfactives.

Il est à retenir que chaque station d'épuration est un cas particulier, dont l'étude approfondie des éléments qui la compose est indispensable.

Enfin, on propose de reconstruire de nouvelles canalisations d'eaux usées des villes indépendante des à celles industries, et ceci afin d'éviter à ce que les métaux lourds dépassent les normes AFNOR.

Etablir une réglementation algérienne, spécifique à la nature chimique des boues, définissant le seuil maximal, en éléments traces admissibles dans les boues.

Vulgarisation de l'intérêt d'utilisation des boues résiduaires, tout en respectant les normes permettant leur utilisation en milieu forestier ou agricole.

Si ces propositions sont mises en pratique sur le terrain, on aura probablement participé à atténuer la réticence des forestiers, et des agriculteurs à utiliser un produit d'une telle origine

Bibliographie

AIME S., (1976) – Contribution à l'étude écologique du chêne-liège. Etude de quelques limites. Thèse Doct de spécialité, univ de Nice, France, 180 p.

ALATOU D., (1990) – Recherches sur le déterminisme de la croissance rythmique du chêne : *Quercus pedunculata* ehrh, *Quercus mirbeckii*, *Quercus suber* L Etude morphologique, biochimique et écophysiological. Thèse de Doctorat d'état en sciences naturelles ISN., univ. De Constantine, 109 p + annexes.

ALLILI N., (1983) – Contribution à l'étude de la régénération du chêne-liège dans la forêt domaniale de Béni-Chobri, Tizi-Ouzou. Thèse d'ing, INA. EL HARACH, 53 p

ALEXANDRE D., (1979) – Valorisation des boues, utilisation en agriculture .

ANSTETT A., (1976) – Problème des terreaux utilisés en culture ornementale et en maraîchage I.N.R.A.Versailles 6291-6298.

ANONYME, (1988) – La fertilisation. Fédération nationale de l'industrie des engrais .
6^{ème} édition. 84 p.

AOUKA MS., (1980) – Etude de la régénération naturelle du chêne-liège et la production du liège de reproduction, en fonction des facteurs de station de la série 5 des forêts domaniales d'EL MILIA. Mém. D'ing, INA Alger, 54 p .

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

ARGILLIER C, FALCONNET G et GRUEZ J., (1991) – Production de plants forestiers. Guide technique du forestier méditerranéen Français. CEMAGREF (Aix en Provence) chap 6, 9 fiches .

Association Française pour l'étude des eaux., (1974) – Utilisation agricole des boues d'origine urbaine, synthèse bibliographique. Centre nationale de documentation et d'information sur l'eau, 2 rue de Madrid, 75008 Paris.

AUSSENAC G., (1973) – Climat microclimat et production ligneuse, Ann. Sc. For, (3) 305 – 330.

AUSSENAC G., (1975) – Etude des relations-climat régénération naturelle du chêne-liège dans la région de Nancy de 1865 – 1972 Rev. For. Fr XXXII-1, 37– 39 .

AUSSENAC G., (1978) – La sécheresse de 1976 : influence des déficits hydriques sur la croissance des arbres forestiers. Rev. For. Fr. II : 103 – 113 .

AUSSENAC G et EL NOUR M., (1986) – Reprise des plants et stress hydrique. Rev. For. FR. XXXIII- 3, 264-270 .

BAIZE D., (1988) – Guide des analyses courantes en pédologie I.N.R.A, France imprimé par Jouve, Paris 172 p.

BAIZE D., (2000) – Guide des analyses en pédologie, 2^{ème} édition revue et augmentée. Edition I.N.R.A, Paris, France.

BAIZE D et JABIOL B., (1995) – Guide pour la description des sols. INRA, Paris 375p.

BARBERO M. QUEZEL p et LOISEL R., (1990) – Les apports de la phyto-écologie dans l'interprétation des changements et perturbation induits par l'homme sur les écosystèmes forestiers méditerranéenne Forêt Méditerranéenne, tome XII, n 3°, 194-213.

BELABBAS D., (1994) – Essai comparatif de provenances de chêne –liège (quercus suber L) : Etude des accroissements en hauteur. Ann. Rech. For. Algérie , pp. 51-61

BENAMAR F., (1981) – Essai de caractérisation de quelques substrats organiques pour la fabrication des mottes en vue de la production des plants maraîchers en pépinière , thèse, ing, agro, INA (ELHARACHE), 53 p.

BENLARIBI M., (1990) – Adaptation au déficit hydrique chez le blé dur (triticum durum DESF), étude de caractères morphologiques et physiologiques thèse magistère INA EL HARACHE, 135 p.

BENSAID S., (1981) – Approche pédologique et phytoécologique des formations à pin maritime (Pinus pinaster ssp renoui Dellvillar) dans les régions d'EL KALA et de Collo Mém d'ing, INA, Alger, 58 p + annexes.

BENSEGHIR L.A., (1996) – Amélioration des techniques de production hors-sol du chêne-liège : conteneur- substrats- nutrition minérale. Master en sciences forestières CEMAGREF (Aix en Provence), 26 p.

BLANC D., (1987) – Les cultures hors sol. Deuxième édition INRA (Paris), 409 p.

BLONDEAU F., (1985) – Le traitement centralisé des boues T.S.M. l'eau, n° 6, juin p 231 – 242.

BOLLAG et al., (1998) –Interaction entre les minéraux des sols, les composés organiques et les microorganismes Edit Scientifique, Regist N° 404, symposium n° 41

BONNEAU M, SOUCHIER., (1979) – Constituants et propriétés du sol .Bd Masson 495 p.

BONNEAU.M., (1995) –Fertilisation des forêts dans les pays tempérés, E.N.G.R.E.F.Nancy 367 p.

BOUDY P., (1950) – Economie forestière Nord-Africaine.Monographie et traitement des essences forestières. Fasc. I, tome I. Ed la Rose, Paris, 575 p.

BOUDY P., (1951) – Caractéristiques forestières et régénération du chêne-liège, 1416,pp 13-17 .

BOUDY P., (1952) – Guide du forestier en Afrique du Nord Paris, Maison rustique, 509 p.

BOUHRAOUA RT., (1999) – Point sur la situation phytosanitaire de quelques subéraies de l'ouest algérien : rôle particulier des insectes 1^{ères} journées d'étude sur la biodiversité forestière INA et INRF.

BOUTIN P., (1975) – Elimination des boues issues des stations de traitements d'eaux résiduaires : risques sanitaires provenant de la mise en décharge et de l'épandage . Ecole nationale de la santé publique, Rennes.

BOUTIN P., (1982) – Risques sanitaires provenant de l'utilisation d'eau polluée ou de boues de stations d'épuration en agriculture. T.S.M, n° 12, pp 547 555.

BRAME V., (1986) – Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines. série documents techniques A.F.E.E France.

BRIDEAU L., (1986) – Les boues d'épuration, menaces pour l'environnement, ou matière première pour l'agriculture. Bul, rech, Agronomiques, pp 369-382.

CALLOT G CHAMAYOU H, MAERTENS C ET SAALSAC.L., (1982) – Mieux comprendre les interactions sol – racines : indice sur la nutrition minérale I.N.R.A, 325p.

CALVET G et VILLEMIN P., (1986) – Interprétation des analyses de terre . société commerciale des potasses et de l'azote, 24 p.

CAMUS A., (1938) – Les chênes : monographie du genre Quercus. 03 volume, 1314 p.

CAUTANCEAU M., (1962) – Arboriculture fruitière Ed Bailliere et Fils. Paris 570 p.

CEMAGREF., (1983) – Régénération artificielle des chênes, note technique n°50.

CHABOUNI Z., (1986) - Caractéristiques physiques des sols et leur évolution sous l'effet d'apport d'eaux usées traitées et de boues résiduaires, cas des stations de la Soukara et

Oued Souhli, séminaire magrébin sur la réutilisation des eaux usées après traitement en agriculture, 23-26 avril, Tunis 28 p.

CHAR H et COLIN F., (1999) – Impact of late frost on leight growth in yong sessile oak regenerations Ann. For. Sci. 56 : 417-429.

CHAVSSOD R et GERMON J C, CATROUX G., (1981) – Essai de détermination au laboratoire de l'aptitude à la minéralisation d'Azote des boues résiduares urbaines, C.R Acad. Agri, 67, n° 9 P 762-771.

CHIEB A et AOUAD H., (1998) – Les possibilités de développement de la subraie dans le parc national d'EL KALA (Nord est Algérien), C.R.des 1^{ères} journées techniques sur le chêne-liège. Parc national d'EL KALA, pp – 6 - 15.

CHOLLET F., (1997) – La régénération naturelle du Hêtre . ONF- Bulletin techniques n° 32 .

CHOUDHRY G., (1994) – Humic substances: soptive interactions with environmental chemical in : humic substances structural photophysical and Free radical aspects and interaction with environmental chemicals, New york; Gordon and Breach science publischer Inc, 95-134.

CONTTENIE A, GABRIELS R., (1976) – La dynamique des éléments minéraux dans le sol. Med fac Landbourn, Rijksuniv, Gent, 37/4 pp 1-4.

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 et GRENIER Y., (1988) – Alternative à la gestion des boues résiduares municipales, recyclage en sylviculture, sci, techn, de l'eau, vol, 20, n°3 pp,215-220.

DE BEAUCORPS G., (1956) – Le sol. Ses caractéristiques intrinsèques. Ann Rech. For Maroc, tome 4, Fascicule 2, pp 29-46.

DEGREMENT., (1972) – Memento technique de l'eau.

DEGREMENT., (1978)– Mémento technique de l'eau, 1236p- , 8^{em}ed, 178, relié.

DE REFFYE P ., EDELIN C et JAEGER M., (1989) – La modélisation de la croissance des plantes . la recherche n ° 207, 159-167.

DJAUD A et MEGHZIFENE K., (1993) – Etude dendro-écologique et impact du feu sur les formations à chênes caducifoliés dans la forêt de Beni-ghobri, Azazga-Kabylie- Mém d'ingénieur d'état, d'inst. D'Agro, univ, Tizi-ouzou, 142 p + annexes.

DJINIT S., (1977) – Etude des facteurs limitants la régénération naturelle par semis de *Quercus suber* L dans la forêt domaniale de Guerouch. Mém d'ing, INA Alger, 80 p

DRAUOUINEAU G, GONDY P et MAZOYER R., (1950) – L'influence du calcaire sur la nutrition végétale. Ann. Agr.3.

DUCHAUFOR PH., (1970) – Précis de pédologie Ed Masson et Cie 3^{ème} ed Paris, 481 p .

DUCHAUFOR PH., (1977) – Pédogenèse et classification pédologique (II) Edition Masson Paris, 477 p .

DUCHAUFOR D., (1988) – Abrégé de pédologie Ed Masson Paris, 454 p.

EL HASSANI M ET DAHMANI J., (1996) – Effet de certaines contraintes édaphiques sur la régénération artificielle du chêne-liège (*Quercus suber* L)/ Ann .rech. for. Maroc. T(29), 151- 159 .

FALCONNET G., (1992) – La production des plants forestiers hors-sol ENGREF (Nancy) 18 p .

FELLAH A., (1979) – Problème de mélange en pépinière forestière et les effets de l'utilisation d'un compost . thèse ing agronome I.N.A ELHARACHE Alger.

FISHESSER et DUPUITATE., (1996) – Le guide illustré de l'écologie .Ed de la Martinières 319 p.

FOUCARD J., (1994) – Filière pépinière de la production et de la plantation Technique et documentations, édition Lavoisier Paris 428 p.

FRANCOIS J M., (1989) – Pour réussir un reboisement, bien savoir choisir les plants. Forêt – entreprise n° 59, avril – mai, pp 36 41.

FRAVAL A., (1991) – Contribution à la connaissance des rythmes de floraison du chêne-liège en forêt de la Mamora, Ann. Rech. For. Maroc, T(25), 102 – 118.

FRAVAL A., (1991) – Contribution à la connaissance des rythmes de floraison du chêne-liège en forêt de la Mamora, Ann. Rech. For. Maroc, T(25), 102 – 118.

FRAVAL A et VILLEMANT C., (2000) – La Mamora et ses ennemis. Les dossiers de l'environnement n° 15. 13 p.

FROCHOT H et LEVY G., (1986) – Facteurs du milieu et optimisation de la croissance initiale en plantations de feuillus Rev For. Fr. XXXVIII- 3, 301-306.

FROCHOT H et PICARD J.F., (1986) – La végétation herbacée, obstacle aux plantations. Rev For. Fr. XXXVIII- 3, 271-279.

GAGNON JD., (1972) – Les égouts domestiques, un engrais valable en foresterie – environnement Canada. Centre de recherches forestières des Laurentides. Québec .
Rapport Q – F – X – 38, 24 p.

GAMRASNI MA., (1979) –Utilisation agricole des boues d'origine urbaine. Association Française pour l'étude des eaux.

GAMRASNI MA., (1981) – Utilisation agricole des boues d'origines urbaines. Source Paris (F.R) A.F.E.E, 128 p.

GAUTIER M., (1979) – L'arboriculture fruitière Ed Hachette 253 p.

GAUTIER M., (1987) – Les cultures fruitières, vol 1, l'arbre fruitier. Bd Baillière Paris 492 p.

GRENIER Y., (1989) – La valorisation des boues d'usine d'épuration des eaux pour la fertilisation des forêts. Thèse ing Canada, rech, forest, 189 p.

GROS A., (1979) – Engrais, guide pratique de la fertilisation, 7^{ème} Ed : Maison Rustique, 553, p.

CUETTIER P, MAGNAN J., (1994) – L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolution .études inter-agences, 27, 176p.

GUY A., (1978) – Méthodes d'analyses des sols. Edition CRDP (Marseille), 191 p .

HADJSADOUK A., (1991) – Contribution à la recherche des normes pour la production de plants de cèdre (Cedrus atlantica) en pépinière. Th. Ing. INA, ELHARRACH. 55 p.

HASNAOUI B., (1992) – Les chaînées du Nord de la Tunisie, écologie et régénération, thèse de Doctorat d'état, université de Provence Aix – Marseille I , 402 p.

HASSNAOUI B., (1995) – Déséquilibre de l'écosystème forestier et ses conséquences sur la faune sauvage en Tunisie : cas du sanglier et du Cerf de Bérbérie. Forêt Méditerranéenne, tome XVI, n°3, 361-368.

HENIN S, GRAS R, MONNIER., (1969) – Le profil cultural, l'état physique du sol et ses conséquences agronomiques. Masson, Paris 332 p.

HENRY E., (1973) – Initiation à la cultures en conteneurs de végétaux de pépinière Edition P.H.M 13 p.

HILLEL D., (1974) – L'eau et le sol. Principes et processus physiques Ed Académique presse New York. P – 257.

JAMONET B., (1987) - Le traitement des boues résiduelles .Université des sciences et techniques du Languedoc. Montpellier.

JAROS J., (1985) – Le traitement des boues des stations d'épuration, centre de formation et de documentation sur l'environnement industriel, Paris 06 – France.

JONES C et JACOBSEN j., (2001) – Plant nutrition and soil fertility Montana university [www.colostate.edu / depts/coopExt/ TRA/ plants/ nutrient / Pdf](http://www.colostate.edu/depts/coopExt/TRA/plants/nutrient/Pdf).

JUST G., (1979) – Valorisation agricole des boues issues du traitement des eaux usées urbaines Cebedeau. N° 432, pp 461-467.

JUST G et SOLDA P., (1979) –Effet de l'application massive de boues riches en cadmium et en nickel sur une monoculture intensive de Mais Mnist, de l'Evir, France, pp 372 –382.

KORMANIK R.A., (1990) –Technologie transfer seminar on sludge handling and disposal

LACEE C., (1985) – analyses des boues – AFEE– tome 1, 135 p tome 2, 127 p .

LAUMONIER R (1978) – Cultures légumières et maraîchères T 1 Ed, J,B Bailliere 246 p.

LEMAIRE.F DARTIGUE.A et RIVIERE L.M., (1990) – Les substrats : problèmes particuliers posés par les cultures de plantes ornementales en pots et conteneurs, les relations entre les systèmes racinaires des végétaux et les sols ou substrats artificiels Compte rendu des séminaires du groupe d'étude des racines . (Aix en Provence) 55-71.

LEPOUTRE B., (1965) – Régénération artificielle du chêne-liège et équilibre climatique de la suberaie en forêt de Mamora. Ann. Rech. For. Maroc, 279 p.

LETACON F., (1978) – Valorisation des boues résiduelles de la station d'épuration urbaine en sylviculture, conséquences sur l'environnement – INP – Lorraine, 44 p.

LETACON F., (1988) – Augmentation de la croissance initiale du Frêne par épandage des boues des stations d'épurations urbaines et plantation intercalaire d'Aulne blanc – revue forestière Française, vol. XL, n°2, pp 117 – 125.

LOUE A., (1986) – Les oligo-éléments en agriculture, Ed. Agr – Nathan Paris 336 p.

MAAMAR N., (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 Alger. ELHARACHE

MAIRE R., (1926) – Note phytogéographique de l'Algérie et de la Tunisie avec une carte / Alger.

MATHIAN R., (1986) –Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines. I.R.C.H.A, documents techniques.

MAZLIAK P., (1982) –Physiologie végétale croissance et développement .vol 2.Ed.Herman, 461p.

MARION J., (1951) – La régénération naturelle du chêne-liège en Mamora. Ann. Rech. For. Maroc. Rapport annuel pp 25-57 .

MESSAOUDENE M., (2000) – Réflexion sur la structure des peuplements de chêne-liège en Algérie. La forêt algérienne n° 3, 5-9

METRO A., VIDAL P et SAUVAGE C., (1951) – Etude des subéraies portugaises. Compte rendu de mission au Portugal du 18 au 28 mai. Ann. Rech. Fores. Maroc, pp 59-89 .

MOHAMMED S LAMHAMEDI., (2000) –Problème des pépinières forestières en Afrique du Nord : stratégies de développement, cahiers d'études et de recherche francophonie, agriculture volume 9 N = 5, 369-80 septembre, octobre .

MOUHOUCHE B., (1986) – Cours d'irrigation. Cours polycopiés. 100 p.

MONNIER G., (1965) – Action des matières organiques sur la stabilité structurale du sol Anna Agro. Vol n° 16, p 140 .

MONNIER G et SINTENGEL P., (1982) – La composition granulométrique des sols : un moyen de prévoir leur fertilité physique. BT1, 370-372, 503-512 .

MOREL R., (1996) – Les sols cultivés 2^{ème} édition Lavoisier, Paris 399p.

MUSTIN M., (1987) – Le composte, gestion de la matière organique. La valorisation agronomique des compostes et plus généralement des matières organiques, Edit ; Français dulux, Paris 954 p.

NATIVIDADE JV., (1956) – Subericulture. ED Française de l'ouvrage Portugais subericulture E.N.E.F.(Nancy), 303 p.

NICOLAS J P., (1987) – La pépinière- technique et documentation, édition Lavoisier 208 p.

PARENT B., (1976) – Etude de compostage commun de boues résiduelles fraîches et d'ordure ménagères. T.M.S n° 10 ; 425 - 433 .

PAUL MH, PLANCHON et RICHARD R., (1979) – Etude des relations entre le développement foliaire. Le cycle de développement à la productivité chez le Noyer .Ann amélioration des plantes . 29 (5), 479-492.

PIZET Y et SI MOHAMED., (1988) – Croissance, morphogenèse et dynamique de l'état, physiologique des plants de Châtaignier (*Castania sativa* Miller). Ann. Rech. Forest., 45 (1) : 17-32.

POMMEL B., (1979) – La valorisation agricole des déchets : les boues résiduares urbaines INRA, 70 p .

QUEZEL P et SANTANA S., (1962-1963) – Nouvelle flore d'Algérie et des régions désertiques méridionales. Paris C.N.R.C, 02 tomes, 1170 p .

QUEZEL P., (1976) – Forêts et maquis méditerranéens : Ecologie conservation et aménagement . les presses de l'UNESCO, Paris, 33 p.

Réussir la forêt., (1991) - Contrôle et réception des travaux . Brochure : institut pour le développement forestier sous la direction de l'espace rurale et de la forêt. France

ROQUES H., (1980) – fondements théoriques du traitement biologique. volume II, pp 1313 à 1757.

SABEY BR et HART WE., (1975) – Land application of sewage sludge affect on growth and chemical composition of plantes . J. Env . Qual N° 1 pp 252-256.

SACCARDY L., (1937) – Notes sur le chêne-lige et le liège en Algérie. Bull de la station de rech for du Nord de l'Afrique, II (3), 271-272.

SAUVAGE CH., (1961) – Recherches géobotaniques sur les subéraies marocaines. Travaux inst. Sci. Cherif. Serv. Bot. 21 : 1-462 + annexes .

SCHAEFER R., (1975) – La matière organique du sol 1^{er} séminaire sur la croissance des sols du Maghreb, Institut National Agronomique El Harache .(Alger). Avril 1975.

SEIGUE A., (1985) – La forêt circuméditerranéenne et ses problèmes. Ed. C.P. Maison neuve et Larose, 502 p .

SELVANATHAN G., (1978) – Cours polycopie. INA département sciences du sol p 92

SEVRANT J., (1975) – Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes , l'exemple des sols salés du sud et du sud ouest de la France – thèse Montpellier 194p + annexes.

SINGH B R, ALMAS A., (1997) – Residual effect of organic matter on cadmium uptake by plant and its distribution in soil Paris-France, 21 p.

SOLTNER D., (2000) – Les bases de la production végétale T1: le sol. 22^{ème} édition sciences et techniques agricole Maine et Loire France 457 p.

SPOSITO G., (1989) – The chemistry of soils, Oxford university press, 277 p..

THIEBAUT B., COMPS B., TESSIER DU CROISE., (1990) – Développement des axes des arbres : Pousse annuelle, syllepsie et probepsie chez le Hêtre (*Fagus sylvatica*) can. J.Bot, 68 : 202-211.

THOMAN N.C., (1983) – Les possibilités d'utilisation des eaux usées en agriculture. Techniques et documentation .pp 10-16.

VEDRY B., (1975) – L'analyse écologique des boues activées. SGETEC.

VEUILLON S., (1998) – Guide technique de subericulture dans les Pyrénées-orientales. Typologie de peuplement et étude préliminaire. Stage de fin d'étude, FIF- ENGREF, France, 68 p + annexes.

VIGNES E., (1990) – Le traitement des taillis de chêne dans le Var. O.N.F.Arborescence n°26.pp 21-23.

VILAIN M., (1989) – La production végétale. Volume 2 : La maîtrise technique de production .Tec et Doc. Lavoisier Ed J.B bailliére 355 p.

WEBB L.J., (1984) – A study of conditioning sewage sludges with lime. Water pollution control, n ° 2 vol, 73, p 192-206.

WEBBER MD, SINGH SS., (1991) – Contamination des sols agricoles. Centre de recherches de l'est sur les céréales et les oléagineux (CRECO), Canada, chapitre 9.

ZAIR R M., (1989) – Influence des méthodes de plantation et d'élevage en pépinière sur la reprise des plants de chêne-liège (*Quercus suber* L) thèse ing INA 50 p + annexe

ZARNOVICAN R., (1983) – Production stationnelle dans les sapinières en Gaspésie ,Quebec.rapp.d'inf.Lav-x-64-C.R.F.L.47p.

ZERAIA L., (1981)– Essai d'interprétation comparative de données écologiques, phénologiques et de production subero-ligneuse dans les forêts de chêne-liège de Provence cristalline.(France Méridionale) et d'Algérie, thèse de Doctorat es sciences, univ d'Aix Marseille, Faculté des sciences et techniques. Saint Jérôme, 367 P.

ZITOUNI A, KAHIA F, DJELLABI A (2002) – Recherche de substrats de culture à base de matériaux locaux pour la production de plants forestiers en hors-sol.

Institut Nationale ce la Recherche Forestière, Atelier sur les nouvelles techniques de multiplication de plants en pépinière forestière. Direction générale des forêts.

ANNEXES

ANALYSE DE LA VARIANCE

Tableau n° 14 : Hauteur de la partie aérienne

SV	DDL	CM	F OBS	F THE	OBS
Var fl	7	22.39	36.79	2.48	S
Var bloc	3	1.11	1.82	3.07	NS
Var R	21	0.61			
Var total	3	5.75			

Tableau n° 15 : Diamètre au collet

SV	DDL	CM	F OBS	F THE	OBS
Var fl	7	0.13	6.37	2.48	S
Var bloc	3	0.02	1.16	3.07	NS
Var R	21	0.02			
Var total	31	0.04			

Tableau n°16 : Longueur de la partie souterraine

SV	DDL	CM	F OBS	F THE	OBS
Var fl	7	0.79	3.02	2.48	S
Var bloc	3	0.31	1.19	3.07	NS
Var R	21	0.26			
Var total	31	0.39			

Tableau n°17 : Poids frais de la partie aérienne

SV	DDL	CM	F OBS	F THE	OBS
Var fl	7	1.78	18.32	2.48	S
Var bloc	3	0.25	2.53	3.07	NS
Var R	21	0.10			
Var total	31	0.49			

Tableau n°18 : Poids frais de la partie racinaire

SV	DDL	CM	F OBS	F THE	OBS
Var fl	7	2.92	6.02	2.48	S
Var bloc	3	0.83	1.72	3.07	NS
Var R	21	0.48			
Var total	31	1.07			

Tableau n°19 : Poids sec partie aérienne

SV	DDL	CM	F OBS	F THE	OBS
Var fl	7	0.31	13.01	2.48	S
Var bloc	3	0.08	3.26	3.07	S
Var R	21	0.02			
Var total	31	0.09			

Tableau n°20 : Poids sec de la partie souterraine

SV	DDL	CM	F OBS	F THE	OBS
Var fl	7	1.11	6.12	2.48	S
Var bloc	3	0.05	0.29	3.07	NS
Var R	21	0.18			
Var total	31	0.38			

Tableau n° 5 : Taux de germination après deux mois de semis

Blocs	Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4		Total	
Substrats	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Substrat1	39	97.5	37	92.5	38	95	37	92.5	151	94.3
Substrat2	37	92.5	39	97.5	39	97.5	40	100	155	96.8
Substrat3	34	85	38	95	36	90	40	100	148	92.5
Substrat4	35	87.5	33	82.5	40	100	39	97.5	147	91.8
Substrat5	36	90	35	87.5	35	87.5	39	97.5	145	90.6
Substrat6	39	97.5	38	95	40	100	39	97.5	156	97.5
Substrat7	39	97.5	38	95	38	95	38	95	153	95.6
Substrat8	20	50	22	55	29	72.5	28	70	99	61.8

Tableau n° 6 : Taux de survie après trois mois de semis

Blocs	Bloc 1		Bloc 2		Bloc 3		Bloc 4		Total	
Substrats	N	%	N	%	N	%	N	%	N	%
Substrat1	39	97.5	37	92.5	37	92.5	36	90	149	93.1
Substrat2	36	90	38	95	36	90	40	100	150	93.7
Substrat3	34	85	36	90	36	90	39	97.5	145	90.6
Substrat4	34	85	33	82.5	40	100	38	95	145	90.6
Substrat5	35	87.5	35	87.5	35	87.5	38	95	143	89.3
Substrat6	38	95	37	92.5	39	97.5	39	97.5	153	95.6
Substrat7	39	97.5	38	95	36	90	35	87.5	148	92.5
Substrat8	22	55	26	65	30	75	29	72.5	107	66.8

Résumé

La présente étude porte sur la caractérisation physico-chimiques des boues résiduelles urbaines de la ville de Setif, et leurs valorisation pour la confection de substrats de culture issus de différents mélanges de matériaux à base de boues (combinaison d'un élément aérateur, et d'un élément rétenteur d'eau),et de voir

l'effet de sont utilisation sur la germination et la croissance des plants de chêne-liège (*Quercus suber* L).par rapport à un témoin (substrat utilisé par les pépinières classiques).

L'élevage des plants à eu lieu en pépinière hors sol en pleins champs et en conditions climatiques normales .

les caractères morphologiques et physiologiques, ont été évalué grâce à des mesures bio métriques mensuelles durant la période de séjour des plants en pépinière (soit 06 mois). Les résultats des analyses physico-chimiques ont montrés que la boue résiduelle issue de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Setif est riche en éléments fertilisants, et en matières organiques, et présente une concentration en métaux lourds située dans les normes AFNOR . Les plants élevés dans les substrats à base de boues à savoir S1 (50 % boue résiduelle, 50 % grignon d'olive) et S2 (40 % boue résiduelle, 60 % grignon d'olive), présentent des caractères morphologiques et physiologiques appréciables comparativement à un témoin (substrat utilisée en Algérie dans les pépinières classiques) .

Mots clés : boues résiduelles – substrats – éléments traces – pépinières hors sol – valorisation – éléments fertilisants – analyses physico-chimiques – croissances .
métaux lourds – germination.

ملخص

تهدف هذه الدراسة الي تحديد التركيبة الفيزيو كيميائية للوحل الناتج عن محطة تصفية المياه الملوثة لمدينة سطيف و اعادة استعمالها كخليط في مشتلة مرفوعة فوق الارض (الوحل يلعب دور قابض للماء- و العنصر الاخر يلعب عنصر التهوية) و معرفة مدي تاثيرها علي انتاش و نمو شجيرات البلوط الفليني مقارنة بالشاهد و هو عبارة عن خليط يستعمل عادة في المشاتل الكلاسيكية بالجزائر
ان دراسة الخصائص المورفولوجية و الفيزيولوجية تمت عن طريق اخذ قياسات شهرية خلال مدة بقاء الشجيرات في المشتلة ان نتائج التحاليل الفيزيوكيميائية بينت لنا بان الوحل الناتج عن محطة تصفية المياه الملوثة لمدينة سطيف غني بالعناصر المخصبة و المواد العضوية و ان تراكيز العناصر المعدنية الثقيلة لا تتعدي الح دود التي تسمح لنا باستعمالها

