

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE TISSEMSILT

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE



Thèse

Pour obtenir le diplôme de **Doctorat en Sciences**

Filière

Science biologique

Spécialité

Biologie Végétale

Thème

Utilisation de la boue d'épuration de la station de Ghardaïa et des sous produits agricoles dans l'élevage en pépinière de *pistacia atlantica*, *ceratonia siliqua*, *cupressus*

Présentée par

Mme JAKBOUB Maroua Safa

Soutenu le : 18/12/2023

devant la commission d'examen:

Mr. BEKADA Ahmed Mohamed Ali, Professeur, Université de Tissemsilt..... Président

Mr. LATIGUI Ahmed, Professeur, Université de Tiaret..... Rapporteur

Mr. BEGHALIA Mohamed, Professeur, Université de Tissemsilt..... Examineur

Mme. BOUCHNAFA Nadia, Professeur, Université de Tiaret.....Examineur

Mme. OULBACHIR Karima, Professeur, Université de Tiaret.....Examineur

Remerciement

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers les personnes qui ont contribué de manière significative à la réalisation de cette thèse.

Tout d'abord, je souhaite remercier chaleureusement mon directeur de thèse monsieur LATIGUI Ahmed, à qui je dois tout mon parcours dans le domaine de la recherche, et sans qui cette thèse n'aurait pas existé

Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers ma mère, dont le soutien indéfectible, la compréhension et les encouragements ont été une source constante d'inspiration. Sa force et son amour ont été les piliers sur lesquels je me suis appuyé tout au long de ce voyage.

À mon époux, je suis reconnaissante pour sa patience, son soutien, ses encouragements et sa compréhension ont été le moteur qui a alimenté ma détermination à surmonter les défis.

Un remerciement particulier à mon frère Abdallah, dont la collaboration active et le travail acharné ont contribué de manière significative à la réalisation des expériences. Sa volonté constante de m'aider, ont été des facteurs clés dans le succès de cette phase cruciale de la thèse.

Dédicace

Je dédie ce travail :

À la mémoire de mon cher père,

Tu as été ma source d'inspiration constante, ma boussole morale et mon plus grand supporter. Ta sagesse, ton amour inconditionnel et ton encouragement ont illuminé mon chemin tout au long de ce périple académique.

Aujourd'hui, alors que je conclus cette étape importante de ma vie, je dédie humblement cette thèse à ta mémoire. Ton héritage, ta bienveillance et tes enseignements continueront de guider mes pas, même en ton absence physique.

Ta foi en mes capacités a été le moteur de ma persévérance, et chaque réussite que j'atteins porte l'empreinte de tes conseils avisés. Bien que tu ne sois plus parmi nous, ton esprit demeure vivant dans chaque ligne de cette thèse, et ton amour éternel restera gravé dans mon cœur.

Merci pour tout, cher papa. Cette réalisation est autant la tienne que la mienne.

Avec amour et gratitude infinie

Repose en paix, cher papa

Liste des abréviations

BE: la boue d'épuration

BR: les boues résiduaires

CC: Co compostage

CCME: Conseil canadien des ministres de l'environnement

CEC: capacité d'échange cationique

CEN: Comité Européen de Normalisation

CHS: cultivé hors sol

CPVQ: conseil des Productivités Végétales du Ministère de l'Agriculture des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

DA: densité apparente

DBO: Demande biochimique en oxygène

DCO: Demande chimique en oxygène

DR: la distribution des racines

EC: électro conductivité

ETM: éléments traces métalliques

FP: Les fibres du palmier

LR: la longueur des racines

meq: milliéquivalent

MFA: matière fraîche de la partie aérienne

MFS: matière fraîche de la partie souterraine

Mmho: millimohms

MS: matière sèche

MSA: la matière sèche de la partie aérienne

MSR: la matière sèche racinaire

PT : porosité totale

SH: substrat horticole

SO₄²⁻: Sulfate

SPA: sous produits agricoles

TD: taux de drainage

TH : taux d'humidité

TV: terre végétale

USA: Les États-Unis

VR: volume des racines

Liste des tableaux

Tableau 1: Expliquer une comparaison très claire entre les engrais minéraux et les engrais organiques

Tableau 2: Comparatif des avantages et inconvénients de différents systèmes intensifs

Tableau 3: les différentes opérations de traitement des boues

Tableau 4: Composition de la solution nutritive utilisée dans l'expérimentation

Tableau 5: Caractéristiques de la TV utilisée dans l'expérience 01

Tableau 6: Caractéristiques de la TV utilisée dans l'expérience 02

Tableau 7: Les traitements utilisés lors d'expérience

Tableau 8: Tableau récapitulatif sur l'effet des différents substrats sur l'ensemble des paramètres de croissance de *C. sativus* cultivé hors sol

Liste des figures

- Figure 1: Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage
- Figure 2: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel
- Figure 3: Situation géographique de la région d'étude
- Figure 4: la station d'épuration Kef Eddoukhan
- Figure 5: collecteur principal
- Figure 6: Dégrillage/dessablage
- Figure 7: Répartiteur primaire
- Figure 8: Répartiteur secondaire
- Figure 9: bassins primaires
- Figure 10: Bassins secondaires
- Figure 11: la boue d'épuration
- Figure 12: Les fibres de palmier
- Figure 13: la germination de caroubier
- Figure 14: la transplantation des plants
- Figure 15: la serre expérimentale
- Figure 16: L'effet des différents substrats sur la porosité totale
- Figure 17: L'effet des différents substrats sur la DA
- Figure 18: L'effet des différents substrats sur le TH.
- Figure 19: L'effet des différents substrats sur le taux de drainage
- Figure 20: L'effet des différents substrats sur le pH
- Figure 21: L'effet des différents substrats sur l'EC
- Figure 22: L'effet des différents substrats sur la croissance de *C. sativus* en pépinière 45 jours après le semis
- Figure 23: L'effet des différents substrats sur la MSR
- Figure 24: L'effet des différents substrats sur la MSA
- Figure 25: L'effet de chaque substrat sur le rapport MSR/MSA
- Figure 26: l'effet des différents substrats sur le VR (cm³)
- Figure 27: l'effet des différents substrats sur la DR (%)
- Figure 28: L'effet des différents substrats sur le NR.
- Figure 29: l'effet des différents substrats sur la LR (cm).
- Figure 30: Production des fruits (kg/plant)
- Figure 31 : Porosité totale (PT)
- Figure 32 : Teneur d'humidité (TH)
- Figure 33: Densité apparente (DA)

Figure 34 : Le taux de drainage (TD)

Figure 35 : Le pH

Figure 36: L'électroconductivité (EC)

Figure 37 : pH

Figure 38: EC (mS/cm)

Figure 39 : Matière sèche (mg/l)

Figure 40: O₂ (mg/l)

Figure 41: L'effet des différents substrats sur la croissance de *C. sativus* en pépinière 45 jours après le semis

Figure 42: Nombre des feuilles

Figure 43: Nombre des racines

Figure 44: Longueurs des tiges

Figure 45: Architecture des racines

Figure 46: Longueur des racines

Figure 47: Matière fraîche du Plante

Figure 48: Matière fraîche Partie aérienne

Figure 49: Matière fraîche Partie racinaire

Figure 50: Matière sèche (MSA)

Figure 51: Matière sèche (MSR)

Figure 52: Volume des racines

Figure 53: Volume partie supérieur des racines

Figure 54: Volumes part inférieur des racines

Sommaire

<i>Liste des abréviations.....</i>	<i>4</i>
<i>Liste des tableaux.....</i>	<i>6</i>
<i>Liste des figures.....</i>	<i>7</i>
<i>Introduction.....</i>	<i>14</i>

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1: La fertilisation du sol

<i>1. Définition.....</i>	<i>19</i>
<i>2. Les types des fertilisants.....</i>	<i>19</i>
<i>2.1. Les amendements.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2. Les engrais.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.1. Les types d'engrais.</i>	<i>20</i>
<i>2.2.2. Les différents types d'apports organiques.....</i>	<i>20</i>
<i>2.3. La différence entre les engrais et les amendements</i>	<i>20</i>

CHAPITRE 2 : Compostage

<i>1. Définition.....</i>	<i>22</i>
<i>2. Les déchets compostables.....</i>	<i>22</i>
<i>3. Les micro-organismes du compost.....</i>	<i>23</i>
<i>4. Les différents procédés de compostage.....</i>	<i>23</i>
<i>5. La maturation du compost</i>	<i>24</i>
<i>6. Utilisation du compost</i>	<i>24</i>
<i>7. Avantages du compostage</i>	<i>25</i>
<i>8. Les inconvénients du compostage</i>	<i>25</i>

CHAPITRE 3: Production de la boue

<i>1. Production de la boue.....</i>	<i>27</i>
<i>1.1. Boues résiduaires</i>	<i>27</i>
<i>1.2. Définition des eaux usées</i>	<i>27</i>
<i>1.3. Traitements des eaux usées.....</i>	<i>27</i>
<i>1.3.1. Prétraitement</i>	<i>27</i>
<i>1.3.1.1. Le dégrillage.....</i>	<i>28</i>
<i>1.3.1.2. Dessablage.....</i>	<i>28</i>
<i>1.3.1.3. Dégraissage – Déshuilage</i>	<i>28</i>
<i>1.3.2. Les traitements primaires.....</i>	<i>28</i>

1.3.2.1	<i>Décantation</i>	28
1.3.2.2	<i>Coagulation – Flocculation</i>	28
1.3.2.3	<i>Filtration</i>	29
1.3.3.	<i>Les traitements secondaires (biologiques)</i>	29
1.3.3.1	<i>Les procédés extensifs</i>	29
1.3.3.2	<i>Les procédés intensifs</i>	30
1.3.4.	<i>Traitement tertiaire</i>	31
2.	<i>Traitement des boues</i>	31
2.1.	<i>Réduction du volume</i>	31
2.2.	<i>Réduction du pouvoir fermentescible</i>	32
3.	<i>Composition des boues</i>	32
3.1.	<i>La concentration en matière sèche (la siccité)</i>	32
3.2.	<i>La teneur en matière organique</i>	32
3.3.	<i>La teneur en éléments fertilisants</i>	32
3.4.	<i>La teneur en micropolluants minéraux, organiques et biologiques</i>	33
3.4.1.	<i>micropolluants minéraux</i>	33
3.4.2.	<i>Micropolluants organiques</i>	33
3.4.3.	<i>Micropolluants biologiques</i>	33
4.	<i>Type des boues</i>	34

CHAPITRE 4:Épuration des eaux usées par lagunage naturel

1.	<i>Lagunage naturel</i>	35
2.	<i>Principe de fonctionnement</i>	35
3.	<i>Les types de lagunes</i>	36
4.	<i>Les facteurs intervenants dans l'épuration par lagunage</i>	37
5.	<i>Les micro-organismes associés à l'épuration</i>	38
5.1	<i>Le phytoplancton (Les algues)</i>	38
5.2	<i>Zooplancton</i>	38
5.3	<i>Les bactéries</i>	39
6.	<i>Les avantages et les inconvénients du lagunage naturel</i>	39

Matériels et méthodes

Partie I: L'incorporation des fibres de palmier dattier (Phoenix dactilifera) dans la production du substrat horticole destiné à la culture du concombre (Cucumis sativus) cultivé en hors sol

I.1.	<i>La serre expérimentale</i>	41
I.2.	<i>La solution hydrominérale et pilotage de la fertigation</i>	41

<i>I.3. La terre végétale (TV)</i>	42
<i>I.4. Les fibres du palmier (FP)</i>	43
<i>I.5. La tourbe</i>	43
<i>I.6. Matériel végétal et conduite de la culture</i>	44
<i>I.7. Protocole Expérimental</i>	44
<i>I.7.1. Les traitements</i>	44
<i>I.7.2. L'analyse physico chimiques des substrats au laboratoire</i>	45
<i>I.7.3. L'effet des substrats sur le développement racinaire et la croissance des plantules en pépinière.</i>	47
<i>I.7.4. Effet sur la production du concombre en serre expérimentale</i>	48
<i>I.7.5. Analyse statistique</i>	48
<i>Partie II : L'effet de la boue d'épuration de la station de Ghardaïa et les fibres de palmier dans l'élevage en pépinière de Ceratonia siliqua</i>	
<i>1. Situation géographique de la station d'épuration d'EL-ATTEUF de Ghardaia</i>	50
<i>2. La station d'épuration de Kef Eddoukhan</i>	50
<i>2.1. Dimensionnement de la STEP de Kef Eddoukhan</i>	50
<i>3. Production de la boue</i>	51
<i>3.1. Collecteur principal</i>	51
<i>3.2. Prétraitement</i>	51
<i>3.3. Répartiteurs principaux</i>	52
<i>3.4. Répartiteur secondaire</i>	53
<i>3.5. Traitement primaire</i>	53
<i>3.6. Traitement secondaire</i>	54
<i>3.7. Déshydratation des boues</i>	54
<i>4. Matériel utilisée</i>	54
<i>4.1. Le compostage</i>	54
<i>4.1. 1. La boue d'épuration</i>	54
<i>4.1.2. Les fibres de palmier utilisé</i>	55
<i>4.1.3. Sol</i>	55
<i>4.2. Matériel végétale</i>	56
<i>5. Protocole expérimental</i>	56
<i>La transformation des composants organiques en composants humiques stables</i>	
<i>1. Caractéristiques physiques et chimiques des substrats testés</i>	57
<i>1.1. La Porosité Totale (PT)</i>	57
<i>1.2. Taux du drainage (TD)</i>	57

1.3. Le taux d'humidité (TH)	58
1.4. Densité apparente (DA).....	58
1.5. Le pH	58
1.6. L'électroconductivité (EC)	59
<i>Partie III : Effet de différent substrat sur la croissance des semis en pépinière</i>	
1. Les serres expérimentales.....	61
2. Les paramètres du développement.....	61
3. Traitements et analyse statistique	62
<i>Résultats et discussions</i>	
<i>Partie I : L'incorporation des fibres de palmier dattier (Phoenix dactilifera).....</i>	<i>64</i>
1. Étude des propriétés physico-chimiques des substrats élaborés	64
1.1. La porosité totale (PT)	64
1.2. La densité apparente (DA)	65
1.3. Le taux d'humidité (TH)	65
1.4. Le taux de drainage (TD)	66
1.5. Le pH	66
1.6. L'électroconductivité (EC)	67
2. L'effet des différents substrats sur le développement racinaire et la croissance des plants en pépinière.....	68
2.1. L'effet sur la croissance des plants	68
2.1.1. La matière sèche racinaire (MSR).....	69
2.1.2. La matière sèche de la partie aérienne (MSA)	69
2.1.3. Le rapport MSR-MSA	70
2.1.4. Corrélation entre MSR et MSA	70
2.1.5. Volume des racines (VR).....	70
2.1.6. La distribution des racines (DR).....	71
2.1.7. Le nombre des racines (NR).....	72
2.1.8. Longueur des racines (LR).....	72
3. Effet des différents substrats sur la croissance et la production du concombre.....	73
<i>Partie 2 : L'incorporation des fibres de palmier dattier (Phoenix dactilifera) dans la production du substrat horticole destiné à la culture du caroubier cultivé en hors</i>	
1. La Porosité Totale (PT)	75
2. Teneur d'humidité (TH)	76
3. Densité apparente (DA)	76
4. Le taux de drainage (TD).....	77

5. Le pH.....	77
6. L'électroconductivité (EC).....	78
I. Évolution du compostage.....	79
1. Le pH.....	79
2. Conductivité électrique.....	80
3. Matière sèche.....	80
4. O ₂	81
II. L'effet de compost sur la croissance de la plante.....	81
1. Nombre des feuilles (NF).....	81
2. Nombre des racines (NR).....	82
3. Longueurs des tiges(LT).....	82
4. la distribution des racines.....	83
5. Longueur des racines.....	84
6. Matière fraîche.....	85
7. Matière sèche.....	86
8. Volume des racines.....	87
Conclusion générale.....	89
Références bibliographiques.....	91
Annexes.....	109

Introduction

En Algérie le palmier (*Phoenix dactylifera*) est la plus importante espèce de l'agro systèmes des étages bioclimatiques semi arides et arides. Dans les palmeraies, et suite aux travaux agricoles d'élagages, les fibres du palmier (FP) sont largement disponibles et non utilisées. Par ailleurs, l'accumulation de la boue d'épuration (BE) et son impact négatif sur l'environnement ainsi que la disponibilité du FP imposent leur recyclage. Leur utilisation en agriculture après leur Co compostage (CC) a un double intérêt économique et écologique (**Shober et al., 2003 ; Onwosi et al., 2017 ; Tittarelli et al., 2002**). Le CC est un processus de biotransformation aérobie de matière. Il se produit dans des conditions contrôlées d'humidité, de température et d'aération (**Rihani et al., 2010; Lu et al., 2008**). Par ailleurs, c'est un bio composite respectueux de l'environnement tout en améliorant la qualité de l'eau et du sol (**Shamrukh et al; 2001 ; Benito et al., 2005; Grigatti et al., 2007; Caballero et al., 2009**).

Lors du CC, des modifications physico-chimiques interviennent (**Saviozzi et al; 2004**) pour pallier les risques encourus par l'utilisation directe de la BE par la destruction des pathogènes (**Scaglia et al; 2000; Liang et al., 2003; Saviozzi et al., 2004 ; Amir et al., 2005**). Ces modifications transforment, également, les composants organiques en composants humiques stables (**Tuomela et al., 2000 ; Lau et al., 2003**). De nombreuses études ont démontré l'intérêt de l'utilisation de la BE en agriculture comme source de fertilisants et de rétention d'eau (**Jouraihy et al., 2005 ; Filipovic et al., 2016 ; Amir et al., 2005; Colombani et al., 2014 ; Diacono et Montemurro, 2010; Taheri et al., 2019**).

L'incorporation des FP dans la production du substrat horticole (SH) destiné à l'élevage du caroubier (*Ceratonia siliqua*), du pistachier de l'atlas (*pistacia atlantica*) et du cyprès (*cupressus*) a nécessité un travail préliminaire sur une plante annuelle. A cet effet nous avons opté pour le concombre (*Cucumis sativus*) cultivé en hors sol. Ce travail a concerné l'incorporation des FP dans la production du SH destiné à la culture de cette espèce cultivé hors sol (CHS). Dans celle-ci, une première expérience menée au laboratoire a concerné les principales propriétés physico-chimiques des SH élaborés et testés. Selon **Fan et Yang, (2007) Medina et al. (2012)**, elles concernaient la porosité totale (PT), le taux d'humidité (TH), la densité apparente (DA), le taux de drainage (TD), le pH et l'électro conductivité (EC). Les propriétés sus citées, selon **Ferreras et al; (2000) et Choi et al; (2011)**, influencent de manière significative le pH et l'EC du SH. Car, en dehors de la gamme recommandée de 5,5 à 6,5 pour le pH (**De Paz et Ramos, 2004**) et de 1,5 à 2,5 mS pour EC

Introduction

(Skiredj, 2005), le processus physiologique de la plante peut être altéré provoquant une mauvaise absorption des nutriments (Choi et al., 2010; Gomez et al., 2001).

Dans une deuxième expérience menée en serre, le concombre (*Cucumis sativus L.*) a été cultivé dans des alvéoles où les graines ont été semées séparément dans les 5 SH élaborés et utilisés dans l'expérience. Les principaux paramètres du développement racinaire ont été étudiés. Il s'agissait du volume des racines (VR), la distribution des racines (DR), la longueur des racines (LR), le nombre des racines (NR), la matière sèche racinaire (MSR) et la matière sèche de la partie aérienne (MSA). Ces paramètres dépendent en grande partie de la rhizosphère (Wei and Brassinosteroids, 2016) ; d'où l'important impact d'un substrat approprié (Ali et al., 1995 ; Lommen et Struik, 1992). L'effet de ces différents SH a été comparé à la tourbe noire commerciale. La comparaison a concerné la croissance et le développement racinaire du concombre, par les paramètres sus cités. Cette expérience a duré 45 jours.

Dans une troisième expérience relative à l'utilisation de différents SH dans la production du concombre en hors sol a été étudiée. Elle a concerné la croissance des racines et la production des fruits. Cette expérience a duré 246 jours.

La principale partie de cette étude a concerné les trois espèces qui sont le caroubier (*Ceratonia siliqua*), pistachier de l'atlas (*pistacia atlantica*) et cyprès (*cupressus*). dans le but d'étudier l'effet du SH sur le développement de ces plantes et vu le problème causé par l'inondation du OUED m'zab au bord duquel était installée l'expérimentation, cette dernière a provoqué des ravages de pistachier de l'atlas (*pistacia atlantica*) et cyprès (*cupressus*), Ce qui nous a obligés à continuer notre étude sur seulement le caroubier

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est une espèce sclerophyte à feuilles coriaces (Rhizopoulou et al; 1991). Elle est d'origine tropicale. Toutefois, elle est largement cultivée dans les pays méditerranéens (Jahns, 2003 ; Zohary, 2002). Car, elle a un intérêt économique et écologique très important dans les zones semi-arides (Makhzoumi, 1997 ; Rhizopoulou, 2004).

Dans une première partie de ce travail, le CC de la terre végétale (TV) et de PF ont été étudiés pour transformer les composants organiques en composants humiques stables (Tuomela et al., 2000; Amir et al., 2004 ; Lau et al., 2003). A cet effet, et pour vérifier la stabilité du CC, nous avons observé son évolution par six prélèvements mensuels durant les six mois de CC. Les paramètres indicateurs de stabilité et de maturité du CC concernés sont le pH, l'EC, l'O₂ et le poids sec (Iglesias-Jiménez, 2008 ; Barrena-

Introduction

Gómez et al., 2006).. Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons étudié l'effet de l'utilisation du CC et de la terre végétale TV comme substrat destiné à l'élevage des plants de *C. siliqua* en pépinière. A cet effet, 4 substrats composés de différents rapports T(CC-TV) : T(80 : 20), T(70 :30), T(60 :40) et le témoin T(0 : 10) ont été utilisés. Les principaux paramètres physico chimiques ont été étudiés au laboratoire. Il s'agit, selon **Medina et al ; (2012)** du pH, de la PT, du TH, de la TD, de l'EC et DA. Car, ces paramètres jouent un rôle prépondérant dans la croissance et le développement racinaire (**Fan et Yang, 2007; Wolters et Jurgens, 2009**). Ils ont également un impact sur l'évolution du pH et de l'EC du substrat (**Ferreras et al., 2000 ; Choi et al., 2010**) dont les valeurs respectives entre 5,5 et 6,5 et entre 1,5 et 2,5 mS/cm, jouent un rôle important dans le processus physiologique des plantes (**Gomez et al., 2001**).

En pépinières, les paramètres du développement racinaire et la croissance des plantes ont été évalués, également par rapport aux substrats testés. Il s'agissait du VR, de la DR, de NF, de la RL, de la LN, de la MSA et MSR, de la MFA et MFS.

Les paramètres ainsi étudiés ont permis de déterminer relativement la composition du substrat horticole favorable à la multiplication du caroubier en pépinière.

Introduction

ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1: La fertilisation du sol

1. Définition

Pontailier (1971) a défini la fertilisation comme un processus consistant à apporter à un milieu de culture, tel que le sol, les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante. Ces éléments peuvent être de deux types : les amendements et les engrais.

Elle est la résultante de ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Ces propriétés résultent elles-mêmes des interactions entre les milieux humains, naturels et techniques (**Soltner, 1986**)

La fertilisation a pour principal objectif l'entretien de la fertilité du sol pour satisfaire les besoins des cultures. Elle englobe un ensemble de techniques agricoles permettant la mise en œuvre des matières fertilisantes. Ces opérations ont pour but de conserver ou améliorer la productivité d'une terre (**Pontailier, 1971**). Elle regroupe, également, des composés d'origine naturelle, organique ou minérale, dont la principale action c'est d'améliorer la structure et les propriétés chimiques ou biologiques du sol (**Gruhn et al; 2000**).

2. Les types des fertilisants

2.1. Les amendements

Les amendements sont destinés à préserver ou à améliorer la structure des sols, à réguler le pH et à favoriser une activité biologique propice à la croissance des plantes. Il y a deux sortes d'amendements : les amendements minéraux. Ils apportent, notamment, du calcium et/ou du magnésium. Quant aux amendements organiques, enrichissent le sol en matière organique et dont certains fournissent, aussi, un grand nombre d'éléments minéraux. (**Asdrubal, 2006**).

2.2. Les engrais

Ce sont des produits, ou mélange de produits, naturels ou d'origine synthétique, utilisés en agriculture pour assurer ou améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (**Colin, 1997**). Ils sont utilisés pour apporter les éléments nutritifs essentiels tels que l'azote et le phosphore (**Diarra et al, 2019**). Leur utilisation généralisée et massive a conduit à une augmentation considérable des apports de N, P et K sur les sols agricoles (**Tilman et al, 2002**).

1.1.1. 2.2.1. Les type d'engrais.

• Les engrais minéraux

Les engrais minéraux peuvent être naturels ou chimiques. Ces derniers sont produits industriellement et contiennent une quantité minérale garantie d'éléments nutritifs. Les engrais minéraux sont des substances d'origine minérale, produits soit par l'industrie chimique, soit par l'exploitation de gisement naturels (phosphore, potasse) (Chafi, 2011).

• Les engrais organiques

Les engrais organiques sont principalement issus de déchets naturels, végétaux ou animaux, Les principaux engrais organiques sont : le fumier, le compost, les engrais verts, les résidus de récolte, l'urée... Ces engrais organiques apportent les éléments nutritifs nécessaires à la croissance des plantes, ils visent à maintenir et à améliorer le stock de matières organiques du sol

1.1.2. 2.2.2. Les différents types d'apports organiques

- **Fumiers:** Les fumiers: sont le résultat du mélange dans les bâtiments d'élevage, des déjections animales avec une litière (paille, copeaux ou sciure). Ils fermentent sous les animaux et sur leur plate-forme de stockage (Tournade et al ; 2011).
- **Lisier, purin:** mélange des déjections solides et liquides des animaux qui ne contient pas de litière (Chouinard et al, 2010).
- **Engrais verts** sont des cultures établies entre les cultures principales pour couvrir et protéger le sol. Ils s'ensemencent après la récolte d'une culture. Ils sont retournés ou détruits au printemps suivant (CPVQ, 1993).
- **Compost:** le compost est une matière brunâtre qui ressemble à du terreau, il provient de la décomposition contrôlée des matières organiques par des millions d'organismes vivant, depuis les bactéries microscopiques jusqu'aux vers de terre. (Smeesters, 1993).
- **Les boues résiduaires :** les déchets organiques urbains constituent une source alternative de matière organique pour les sols (Catroux et al; 1983 ; Lue-Hing et al; 1992).

2.3. La différence entre les engrais et les amendements

Selon Henri (1965), la différence entre les engrais et les amendements, est que le rôle des engrais est d'apporter les éléments nutritifs au végétal. Alors que, celui des amendements

est de modifier la structure et l'acidité du sol ; permettant ainsi aux plantes de profiter au maximum des engrais.

Tableau 1: Explication d'une comparaison entre les engrais minéraux et les engrais organiques (Berger, 1996).

Engrais	Engrais minéraux	Engrais organiques
Composants	Essentiellement N P K	Végétal et animale
Intérêts d'utilisation	Amélioration de la qualité chimique du sol	Enrichissement du sol avec la matière organique essentielle
Avantages	- Facilité d'acquisition -Assimilation rapide par les plantes grâce à leur solubilité	-Disponible sous type animale et végétales,
Inconvénients	-L'utilisation excessive des engrais devient néfaste aux plantes et au sol -Économiquement couteux	rendement faible par rapport l'engrais minéral Peut perturber les propriétés chimiques du sol

CHAPITRE 2 : Compostage

1. Définition

Le compostage est défini selon **Francou (2003)**, comme : « un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en conditions aérobies, entraînant une montée en température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost. »

Il est considéré comme un moyen approprié de recycler des déchets. Car, cela permet non seulement de résoudre le problème de leur élimination. Mais, il produit également un amendement biologique utile (compost). (**Banegas et al; 2007**).

Le compostage peut encore être défini comme un procédé biologique contrôlé de conversion et de valorisation des substrats organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique) en produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques (**Mustin, 1987**).

2. Les déchets compostables

➤ *Les boues de station d'épuration*

Ils ont issus de traitement des eaux usées, c'est le mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent (**jardé, 2002**).

La teneur de boue d'épuration en matière organique peut varier de 50 à 70 % de l'extrait sec total. (**Banegas et al; 2007**).

➤ *Les déchets verts*

C'est l'ensemble de déchets végétaux (les branchages, feuille morte, d'arbustes, les résidus d'élagage.....etc).

➤ *Déchets animaux*

Composter les effluents d'élevage est une pratique courante et ancienne. Le compost obtenu à partir de fumier de bovins est le compost d'effluent d'élevage le plus courant. Mais, des composts à partir de fumier d'ovins, de porcs et de volailles, et à partir de lisier de porcs sont également réalisés (**Leclerc, 2001**).

➤ *Déchets ménagers*

Ils ont issus de l'activité domestique produite par les collectivités

3. Les micro-organismes du compost

Des communautés différentes de micro-organismes se succèdent lors du compostage. Elles sont constituées majoritairement de Bactéries, d'Actinomycètes, de Champignons (ou Mycètes), de Protozoaires ou d'Algues (**Tuomela et al; 2000, Hassen et al; 2001**).

4. Les différents procédés de compostage

Le compostage est un processus oxydatif qui comprend une phase thermophile. Les produits formés sont principalement du CO₂ et un produit stabilisé : Le compost mûr. Les déchets organiques de départ sont colonisés, transformés par une succession de différentes populations microbiennes. Chacune de ces populations modifie le milieu puis est remplacée par d'autres mieux adaptées à ces nouvelles conditions. (**Godden, 1986**).

Le processus de compostage peut être décomposé en 4 phases, la première est appelée phase mésophile du fait des températures atteintes inférieures à 45°C.

Des micro-organismes dont la température de croissance optimale est comprise entre 20 et 45°C se multiplient alors rapidement, notamment grâce à la présence de matière organique facilement biodégradable (sucres simples et acides aminés libres). Leurs métabolismes très actifs engendrent une production intense de chaleur et élèvent ainsi la température du compost à un point tel que leurs propres activités sont inhibées.

A ce moment, débute la phase thermophile où quelques champignons ainsi que de nombreuses bactéries thermophiles (température de croissance optimale comprise entre 50 et 70°C) poursuivent le processus, en augmentant encore la température du milieu jusqu'à 65 - 70°C voire plus. Durant cette phase très active, une importante part de la matière organique est perdue par minéralisation du carbone organique et dégagement de CO₂. Un assèchement du compost lié à l'évaporation de l'eau est souvent observé. Cependant, la hausse de température est cruciale pour la qualité du compost. Car, la chaleur détruit les pathogènes et les graines d'adventices. Ces deux premières phases peuvent être assimilées à une première phase dite de dégradation.

Cette phase dégradative (phase mésophile et thermophile) est suivie par une période de ralentissement de l'activité, pendant laquelle la température diminue graduellement. Des micro-organismes mésophiles colonisent à nouveau le compost. S'en suit alors une phase de maturation constructive où apparaissent lentement des éléments précurseurs de l'humus (**Albrecht, 2007**).

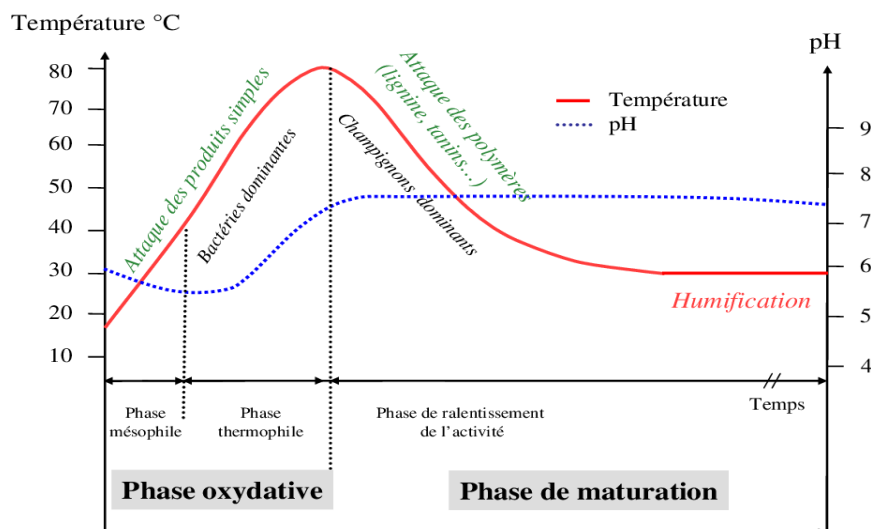


Figure 1 : Courbe théorique d'évolution de la température et du pH au cours du compostage d'après Mustin (1987)

5. La maturation du compost

Il doit ressembler à du terreau tant par sa couleur « noire foncée » que par son absence d'odeur désagréable (Mbuligwe et al; 2002 ; Iglesias-Jimenez et Perez-Garcia, 1989). Sa température en fin de processus doit être stable et voisine de la température ambiante extérieure sans excéder 35°C (Harada et al; 1981). Au toucher sa texture doit être friable. Ces méthodes rapides et simples doivent être complétées par des analyses plus précises en laboratoire (Charnay; 2005).

La stabilité et la maturité du compost sont essentielles pour une utilisation optimale du compost comme amendement du sol et source de nutriments pour les plantes (CCME, 1996 ; Magdi et al ; 2004).

La maturité du compost est associée à la croissance des plantes et à la phytotoxicité à la différence de la stabilité qui est liée à l'activité microbienne (Hue et Liu ; 1995).

La maturation du compost est déterminée par sa teneur en substances humiques et surtout par l'aromaticité de sa structure (Spaccini et al. 2002, Zorpas et al. 2003).

Un compost est considéré à maturité lorsque sa DCO est inférieure à 350 mg/g (Mustin; 1987).

6. Utilisation du compost

Selon Charnay (2005), Il est indispensable de tenir compte de certaines exigences pour ne pas porter préjudice à la commercialisation du produit comme :

- le caractère inoffensif du point de vue pathogène,
- la compatibilité avec les plantes,

- l'absence d'impuretés (plastiques, verres...),
- la teneur en matières fertilisantes (N, P, K, Ca),
- la teneur en polluants potentiels (métaux lourds),
- le suivi de la qualité du produit.

7. Avantages du compostage

Amir et al; (2001, 2010), Jouraiphy et al., 2007 ont montré que le procédé de compostage a différents avantages et utilités dont les principaux sont:

- le procédé de compostage qui est une écotechnologie permettant de réduire les masses et les volumes de déchets de moitié,
- le procédé biotechnologique, utilisant les potentialités microbiennes, pour transformer les substrats organiques, en un produit appelé compost, stable et mature et exempt de toute phytotoxicité,
- une désodorisation parfaite due à la transformation de l'azote ammoniacal, responsable des principales odeurs, en azote organique par les micro-organismes.

Par ailleurs, Il s'agit d'un amendement organique permettant d'améliorer la structure des sols permettant, ainsi l'aération, le drainage, la minéralisation des composés organiques, et la concentration des fertilisants qui permettra de réduire les carences nutritionnelles chez certains végétaux.

Il permet, également, l'augmentation de la température, détruisant, ainsi des agents pathogènes et les graines d'adventices, ainsi que l'inhibition de l'activité de certains champignons à l'origine de certaines maladies phytopathologiques.

Il possède, également, un effet à long terme dans le sol comparable aux fertilisants chimiques. Le compost possède d'autres propriétés comme la diminution de l'érosion des sols, l'augmentation de la capacité de rétention en eau ou l'amélioration des échanges gazeux. Il Enrichit et maintient la biodiversité des populations microbiennes des sols.

8. Les inconvénients du compostage

Les inconvénients peuvent être les mauvaises odeurs si le retournement n'est pas bien effectué (manque d'aération). Si, également n'est pas mature ou s'il y a un déséquilibre entre les matières organiques riches en carbone et celles riches en azote. De plus, lors de la pratique de compostage dite bord de champ, il est nécessaire de ne pas placer le tas de compost à proximité de puits ou autres sources d'eau car le lixiviat pourrait les atteindre. Dans ce cas, les plates-formes de compostage doivent avoir une dalle étanche (Abaker, 2016).

Un compost non stable et non mature va poser des problèmes de stockage et de transport dus à des dégagements gazeux ou malodorants, infestation de mouches et moustiques, et des problèmes de phytotoxicité ou de pollution après épandage au sol (**Mathur et al ; 1993; Tiquia et al ; 1998**)

Lorsque le processus de compostage n'est pas correctement effectué, il peut y avoir un risque avec les agents pathogènes pour les travailleurs qui manipulent le compost et un risque également pour les plantes (**Meekings et al ; 1996**)

CHAPITRE 3: Production de la boue

L'amélioration des filières de traitement des eaux usées a engendré l'augmentation des sous-produits concentrant les pollutions : refus de dégrillage, sables, graisses, air vicié et boues d'épuration. Ces sous-produits, et particulièrement les boues qui représentent les plus gros volumes, doivent être conditionnés et éliminés de la façon la plus adéquate (**Renou, 2006**).

1. Production de la boue

1.1. Boues résiduaires

Les boues sont définies par le Comité Européen de Normalisation (CEN) comme «un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eaux qui le contiennent». (**Jardé, 2002**)

1.2. Définition des eaux usées

Les eaux usées sont des eaux ayant été utilisées pour des usages domestiques, industriels ou même agricoles ; constituant donc un effluent pollué rejetées dans un émissaire d'égout (**RAMADE; 2000**)

L'épuration de ces eaux usées s'effectue en différentes étapes (qui seront décrites par la suite) selon des techniques basées sur des lois de la physique, de la chimie et de la biologie. Il en résulte une eau épurée que l'on rejette dans le milieu naturel et un résidu principal : les boues. Ce résidu est constitué de matières minérales inertes, d'azote, de phosphore et de matières organiques (**Jardé, 2002**).

D'après (**RODIER, 2005**), on peut classer comme eaux usées, les eaux d'origine urbaines constituées par des eaux ménagères et les eaux des vanes chargées de fèces et d'urines ; toute cette masse d'effluents est plus ou moins diluée par les eaux de lavage de la voirie et les eaux pluviales. Peuvent s'y ajouter les eaux industrielle et agricole.

1.3. Traitements des eaux usées

1.3.1. Prétraitement

Avant l'arrivée dans la station d'épuration, les collecteurs des eaux usées charrient des matières très hétérogènes, et souvent grossières. Les eaux qui arrivent à la station d'épuration vont subir en premier lieu des traitements de dégrossissage nommés prétraitements. Ceux-ci vont permettre d'extraire la plus grande quantité des éléments dont la taille (détritus grossiers),

le pouvoir abrasif (sables, argiles) et la masse spécifique (graisses flottantes) risquent de perturber le fonctionnement des étapes ultérieures (**Jardé, 2002**).

Il comprend :

1.3.1.1. Le dégrillage

L'objectif de dégrilleur est d'éliminer les déchets solides volumineux transportés par l'eau, il permet de protéger les ouvrages en aval.

1.3.1.2. Dessablage

Il a pour but d'extraire des eaux les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduites ; à protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion, à éviter de surcharger les stades de traitement suivants. (**Koller, 2004**).

1.3.1.3 Dégraissage – Déshuilage

Les opérations dégraissage-déshuilage consistent à séparer de l'effluent brut, les huiles et les graisses par flottation. Ces derniers étant des produits de densité légèrement inférieure à l'eau. L'injection des micro-bulles d'air permet d'accélérer la flottation des graisses (**koller, 2009**). Souvent ces opérations sont combinées dans un même ouvrage où la réduction de vitesse dépose les sables et laisse flotter les graisses. On enlève ainsi de l'eau, les éléments grossiers et les sables de dimension supérieure à 200 microns ainsi que 80 à 90 % de la graisse et matières flottantes (**Bouziyani, 2000**).

1.3.2. Les traitements primaires

1.3.2.1. Décantation

Elle consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé "décanteur" pour former les "boues primaires". Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage. Ce traitement élimine 50 à 55 % des matières en suspension (**Daloz, 2007**).

1.3.2.2. Coagulation – Flocculation

Ce sont des méthodes qui favorisent la sédimentation des particules flottantes dans les eaux usées, grâce à l'action de réactifs chimiques ajoutés artificiellement : les coagulants ou les flocculants (**BOUZIYANI, 2000**).

1.3.2.3. Filtration

La filtration est un procédé de séparation dans lequel on fait percoler un mélange solide-liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui idéalement retient les particules solides et laisse passer le liquide (filtrat) (**DEGREMONT, 2005**).

1.3.3. Les traitements secondaires (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 floccs plus ou moins abondants qu'on éliminera par décantation ou filtration (**VEDRY, 1975**).

1.3.3.1. Les procédés extensifs

Les techniques extensives consistent à reconstituer des écosystèmes artificiels optimisés dans lesquels on reproduit le phénomène d'autoépuration de façon à protéger l'écosystème naturel (**fidele, 2020**). Le phénomène d'autoépuration désigne le processus biologique naturel par lequel les polluants organiques vont se transformer dans le milieu aquatique (**Veolia Eau, 2008**).

1.3.3.1.1. Le lagunage

Le traitement par lagunage est constitué d'une série de bassins artificiels, ou étangs, formés de digues, imperméabilisés dans lesquels les eaux usées sont déversées (**Chaib, 2004**), ces bassins fonctionnent comme des écosystèmes avec des relations de symbiose entre différentes populations (bactéries, champignons, protozoaires, d'algues...etc) (**Seidl et Mouchel, 2003**), ces organismes interviennent à éliminer la charge polluante et de stabiliser les boues produites

➤ **Lagunage naturel**

L'épuration par lagunage naturel repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux (**Alexandre et al, 1997**).

➤ **Le lagunage aéré**

C'est une version intensive du lagunage, nécessitant une emprise nettement moindre que le lagunage naturel. Le lagunage aéré consiste à intensifier l'activité aérobie par un

brassage et une aération artificielle par des aérateurs mécaniques flottants ou fixes ou une insufflation d'air. Les équilibres biologiques sont voisins de ceux du procédé classique par boues activées. Mais, en 24 l'absence de recirculation biomasse dans le système, la concentration en micro-organismes est faible et la décantation lente. (DEGREMONT, 2005).

1.3.3.2. Les procédés intensifs

Ils s'effectuent d'une façon mécanique et en présence d'oxygène, ce système est plus couteux et demande plus d'énergie par apport au système extensif. Parmi les systèmes existants, on trouve: lits bactériens, disques biologiques, boues activées (El Fels, 2014). Une étude comparative des avantages et inconvénients de ces différents systèmes intensifs est résumé au tableau 2.

Tableau 2 : Comparatif des avantages et inconvénients de différents systèmes intensifs (El fels, 2010)

Système	Avantages	Inconvénients
<p><u>Installation à culture libre</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • boues activées 	<ul style="list-style-type: none"> • pour toute taille de collectivité (sauf les petites) • Bonne élimination de la DBO, DCO et MES • Boues légèrement stabilisées • Adapté pour la protection des milieux sensibles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coût d'investissement élevé • Sensibilité aux surcharges hydrauliques • Consommation énergétique importante
<p><u>Installation à cultures fixées</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • lits bactériens ou de pérculation 	<ul style="list-style-type: none"> • Faible consommation d'énergie • Fonctionnement simple • Bonne décantation de boues 	<ul style="list-style-type: none"> • Cout d'investissement élevé • Sensibilité au colmatage et au froid • Nécessite un prétraitement efficace • Boues fermentescible
<ul style="list-style-type: none"> • Disques biologiques ou biodisques 	<ul style="list-style-type: none"> • Adapté pour les petites collectivités • Bonne décantabilité des boues • Plus faible sensibilité aux variations de charge que la technique des boues activées. 	<ul style="list-style-type: none"> • Performance plus faible que la technique de boues activées • Cout d'investissement important • Grande sensibilité aux variations de température ce qui exige une couverture • Boues putrescibles

1.3.4. Traitement tertiaire

Le traitement tertiaire est considéré comme facultatif ou complémentaire permettent l'élimination de l'azote et du phosphore et des germes pathogènes par la dénitrification, la déphosphatation et la désinfection.

2. Traitement des boues

Les boues d'épuration sont des résidus issus du traitement des eaux usées réalisé par les stations d'épuration, le traitement des boues doivent répondre à au moins l'un des deux objectifs suivants :

- réduction du volume (facilité de transport) ;
 - réduction du pouvoir fermentescible (élimination des mauvaises odeurs).
- (Petit, 2007).

Tableau 3 : les différentes opérations de traitement des boues (Duchêne, 1990).

Opérations	Buts
Stabilisation	Limiter les évolutions ultérieures s'accompagnant de nuisances
Concentration	Éliminer 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 final 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

2.1. Réduction du volume

Les stations d'épuration disposent de plusieurs techniques permettant une réduction du volume des boues par:

- Un épaissement, après lequel la boue demeure fluide,
 - Une déshydratation, obtenue par séchage naturel, drainage, ou par séparation mécanique,
 - Séchage thermique ou incinération, réalisés après une étape de déshydratation.
- (Guy, 2003 ; Koller, 2004).

2.2. Réduction du pouvoir fermentescible

La stabilisation vise à réduire le pouvoir fermentescible des boues et leurs nuisances olfactives. Elle peut être biologique, chimique ou physique (OTV, 1997).

3. Composition des boues

La composition des boues varie en fonction de la composition des eaux usées et de la période de l'année et type de traitement des eaux pratiqué par la station d'épuration.

Pour caractériser une boue, on tiendra compte des éléments suivants :

- la concentration en matière sèche (MS) aussi appelée siccité ;
- la teneur en matière organique et en éléments fertilisants ;
- la teneur en micropolluants minéraux, organiques et biologiques (Petit, 2007).

3.1. La concentration en matière sèche (la siccité)

La siccité a un effet sur l'état physique des boues, On distingue 4 niveaux de consistance :

- **les boues liquides:** elles présentent un pourcentage de matière sèche de 2 à 15 % ,
- **les boues pâteuses:** elles présentent un pourcentage de matière sèche de 15 à 25 % ,
- **les boues solides:** elles présentent un pourcentage de matière sèche de 25 à 85 % ,
- **les boues sèches:** elles présentent un pourcentage de matière sèche supérieure à 85 % .

3.2. La teneur en matière organique

Matière organique représente : 50% de la Matière Sèche (MS), en boue primaire, 50 à 80 % de la MS, en boue secondaire. Et 35 à 60 % de la MS, en boue tertiaire. (ADEME, 2001 ; Jarde et al ; 2003).

3.3. La teneur en éléments fertilisants

Les boues contiennent des quantités appréciables d'éléments fertilisants :

- L'azote, de 4 à 6% de matière sèche (MS) ;
- Le phosphore, de 3 à 8% de MS ;
- Potassium et Magnésium, très faibles (0.5 à 1.5% de MS), les sels de ces deux éléments étant très solubles et donc éliminés des boues ;
- Ca de 4 à 7% de MS (Allinger et al, 1979)

Les éléments en traces tels que le cuivre, le zinc, le chrome et le nickel présents dans les boues sont aussi indispensables au développement des végétaux et des animaux (Amir, 2005).

3.4. La teneur en micropolluants minéraux, organiques et biologiques

3.4.1. Micropolluants minéraux

On parle de micropolluants métalliques ou éléments traces métalliques. Car, la plupart des éléments minéraux retrouvés dans les boues de stations d'épuration urbaines proviennent du groupe des métaux (**Petit, 2007**). La fonction métale caractérise les éléments minéraux qui, sous forme ionique, manifestent une grande affinité pour les groupes hydroxyles de l'eau avec lesquels ils vont se lier. L'expression « métaux lourds » est fréquemment employée pour désigner les micropolluants minéraux (**Ademe, 1995**).

Les teneurs des métaux dans les boues montrent toujours un niveau plus élevé que celui des eaux usées entrant dans l'unité d'épuration (**Fars, 1994**) pour préserver les teneurs naturelles du sol en éléments traces métalliques (ETM) lors de l'utilisation de boues en agriculture, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture, Les ETM peuvent être classés en 2 catégories :

- les ETM essentiels à la biologie cellulaire et à l'équilibre physiologique de tout être vivant : ce sont l'arsenic, le chrome, le cuivre, le molybdène, le nickel, le sélénium et le zinc. Un apport nutritionnel est conseillé, mais sans dépasser les doses de limite de sécurité pour le zinc et le sélénium. En effet, ces ETM sont toxiques à doses élevées.
- Les ETM dont la présence est indésirable pour l'organisme des êtres vivants de par leur faible seuil de toxicité et de par leur absence d'intérêt nutritionnel. Il s'agit du plomb, du cadmium et du mercure. Ces ETM que l'on appellera « contaminants » vont s'accumuler tout au long de la chaîne alimentaire par transfert du sol et de l'eau vers les plantes et les animaux, ainsi que par les retombées atmosphériques (**Petit, 2007**).

3.4.2. Micropolluants organiques

La nature et la concentration des eaux usées en polluants organiques et inorganiques sont très dépendantes des activités raccordées au réseau. L'essentiel des contaminations chimiques vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (utilisation de solvants, déchets de bricolage etc.). Du fait de la décantation lors du traitement, ces contaminants chimiques se retrouvent dans les boues à de très grandes concentrations par rapport aux eaux usées (**Klöpffer, 1996**).

3.4.3. Micropolluants biologiques

Les boues contiennent également des milliards de microorganismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient

en majorité des excréments humains ou animaux (**Sahlström et al ; 2004**). La concentration d'une eau usée en germes pathogènes dépend du secteur d'activité d'origine: les eaux provenant d'abattoirs ou de toute industrie traitant de produits d'animaux sont très largement contaminées (**Ecrin, 2000**). D'une façon générale, les boues doivent subir un prétraitement avant leur utilisation en agriculture (**Garrec et al ; 2003**).

4. Type des boues

➤ Les boues primaires

Les boues primaires sont issues de traitement primaire par la décantation des eaux usées, elles sont très hétérogènes, riches en matières minérales et contiennent de 65% à 70% de matières organiques putrescibles d'évolution (**Duchene, 1990**).

➤ Les boues secondaires

Les boues secondaires sont les boues issues du traitement biologique soit en culture libre (boues activées) ou en culture fixée (lits bactériens, disques biologiques...ect). (**RAKOTONDRAMIANANA, 2004**). Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions. Ces bactéries se nourrissent des matières organiques contenues dans les eaux usées et les digèrent. Les boues sont de couleur sombre, très organique (75%) plus homogène que les boues primaires et ont moins d'odeur que les précédentes (**LARBI, 2009**).

➤ Les boues physico-chimiques

Selon **Jarde (2002)**, ces boues sont issues de l'agglomération des matières organiques particulaires ou colloïdales contenues dans les eaux par l'addition d'un réactif coagulant dont les plus courants sont les acides et les bases, les sulfates d'aluminium ou de fer les chlorures ferreux ou ferrique.

➤ Les boues mixtes

Les boues mixtes sont le mélange de boues primaires et de boues biologiques. Elles proviennent de la totalité de la station, elles présentent donc un fort caractère fermentescible.

CHAPITRE 4:Épuration des eaux usées par lagunage naturel

Le procédé d'épuration des eaux usées par lagunage a été créé aux Etats-Unis en 1901. Dès 1920 le lagunage s'est développé aux USA, Canada, Suède et France.

Le système d'épuration des eaux usées domestiques par lagunage naturel demeure parmi les procédés les plus utilisés dans les pays à climats chauds arides à semi-arides. **(Boutayeb et Bouzidi, 2012).**

La particularité de ce procédé c'est qu'il nécessite un faible coût d'investissement et d'exploitation avec peu d'expertise technique. Par ailleurs, l'utilisation de grandes superficies demeure une contrainte majeure de ce procédé particulièrement dans les zones urbaines où le foncier est coûteux et parfois non disponible. **(Boutayeb et Bouzidi, 2012).**

1. Lagunage naturel

Le lagunage naturel est un procédé de traitement extensif à culture libre, largement utilisé en milieu rural. Ce procédé est basé sur le transit de l'eau usée par gravité à travers plusieurs bassins étanches disposés en parallèle ou en série, où des phénomènes d'autoépuration se produisent en fonction de la profondeur de chaque bassin. Les seules interventions humaines résident dans le fait d'entretenir les abords et de sortir les excédents de production (curage et faucardage), ce qui a permis au lagunage de devenir un procédé d'épuration rustique mais fiable et performant, notamment en matière de qualité bactériologique des eaux **(Racault, 1997; Racault et Boutin, 2004; El Hachimi, 2012).**

2. Principe de fonctionnement

L'épuration par lagunage naturel repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes **photosynthétiques** des végétaux en présence de rayonnements lumineux **(Alexandre et al, 1997).**

L'exposition de la partie supérieure des bassins à la lumière permet la prolifération des algues planctoniques qui produisent par photosynthèse l'oxygène nécessaire au développement et au maintien des bactéries aérobies. Ces dernières interviennent dans le processus de minéralisation, qui consiste à dégrader la matière organique complexe en composés minéraux simples (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-}) et en gaz (CO_2 , H_2S , CH_4 , NH_3 ...), grâce à l'activité de micro-organismes. Ceci entraîne un phénomène d'eutrophisation favorable à la prolifération des algues, dont la photosynthèse permet d'entretenir ce cycle épuratoire qui s'autoentretient tant qu'il reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique,

et permet également, l'élimination de la pollution microbienne, ce qui est un avantage par rapport aux autres techniques d'épuration (Berland, 2014; WHO, 1987).

En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau (Perera et Baudot, 1991)

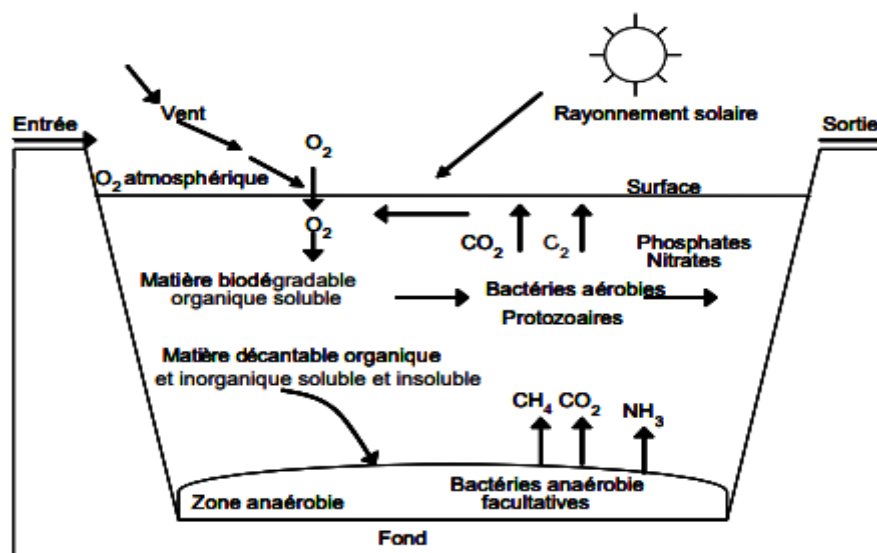


Figure 2: Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel (Agences de l'Eau, 1979).

3. Les types de lagunes

Racault et al., (1997) ont pu distinguer plusieurs types de lagunes :

1. Lagune anaérobie

Dans une lagune anaérobie de profondeur de 3 à 4m, l'oxygène dissous est absent, donnant lieu aux processus de fermentation et de méthanisation. La dégradation de la matière organique est partielle produisant du méthane (CH₄) et du sulfure d'Hydrogène (H₂S).

2. Lagune aérobie et facultative

Ce sont des bassins peu profonds de 1 à 1,5m. La dégradation de la matière organique est totale en présence d'oxygène dissous. Parfois, il se produit une absence d'oxygène dissous pendant certains jours ou dans certaines zones de l'étang (à proximité de l'entrée ou au fond), la matière organique est alors décomposée en anaérobie.

3. Lagune aérée

Le bassin est aéré mécaniquement ou par diffusion d'air. Il n'a pas besoin d'algues ou de lumière pour fournir l'oxygène dissous nécessaire à la respiration des bactéries.

4. Lagune de maturation

C'est un bassin peu profond de l'ordre de 1m. Il reçoit une faible charge organique. La zone aérobie couvre une grande fraction de la colonne d'eau. Ce lagunage permet d'améliorer les effluents issus d'un traitement secondaire. Le temps de séjour prolongé permet de limiter le nombre de microorganismes.

4. Les facteurs intervenants dans l'épuration par lagunage

- **La température**

Les variations de température du milieu lagunaire influent sur le bon fonctionnement de la lagune ; puisqu'elles affectent la production d'oxygène par photosynthèse et agissent sur le mécanisme de croissance et de survie des microorganismes qui peuplent ces bassins. L'optimum de production d'oxygène se situe vers 20°C. Le lagunage ne peut fonctionner normalement qu'entre 5°C et 35°C. Des températures très basse (<5°C), s'accompagnant ou non de formation de glaces superficielles arrêtent la photosynthèse. La lagune passe alors en anaérobiose. Des températures supérieures à 35°C entraînant une diminution de la vitesse de la photosynthèse. Par contre, l'activité bactérienne et corrélativement la demande en oxygène augmentent ; ce qui peut provoquer un passage vers l'anaérobiose (**Achouri, 2003**).

- **Les vents**

Les vents causent des turbulences qui assurent un brassage de la masse d'eau et favorisent l'oxygénation et la répartition de la température des eaux dans les bassins. Mais, ils peuvent aussi dégrader les digues par batillage. Ils permettent également le renouvellement de la pellicule d'air située immédiatement au dessus de la surface d'eau évaporant et collaborant aux échanges d'azote sous forme de N₂ ou de NH₃ (**Achouri, 2003**).

- **L'éclairement**

La lumière solaire est indispensable à la photosynthèse qui est la principale source de production d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique.

Les rayons solaires ultraviolets possèdent des propriétés germicides importantes qui les font souvent considérer comme des bons agents naturels de désinfection. L'importance exacte que ces radiations jouent effectivement dans l'élimination des germes dans les bassins de lagunage est cependant difficile à évaluer (**Achouri, 2003**).

- **L'évaporation**

L'évaporation est un phénomène important essentiellement en été conjuguée à une infiltration intense, elle influence le bon fonctionnement des lagunes et doit être prise en compte lors des calculs de dimensionnement des différents bassins car elle diminue la quantité des effluents à traiter et augmente le temps de passage (**Achouri, 2003**).

5. Les micro-organismes associés à l'épuration

5.1 Le phytoplancton (Les algues)

Ce sont des plantes microscopiques qui, en présence de lumière et grâce à leur activité photosynthétique due à la chlorophylle contenue dans leurs tissus, utilisent les substances minérales et le gaz carbonique rejetés par les bactéries, pour édifier leur matière et évacuer de l'oxygène (**BONDO et PIETRASANTA, 1994**).

Il s'agit des :

- Algues bleues (cyanophycées) proches des bactéries,
- Algues vertes (chlorophycées),
- Algues brunes (chrysophycées),
- Eugléniens

5.2 Zooplancton

Le rôle du zooplancton est d'assurer la finition de l'épuration des eaux. Ils vont jouer un rôle important comme consommateur de micro-algues, et donc comme régulateur de ces populations phytoplanctoniques (**Oubadi, 2012**). Cependant, cette faune a une importance essentielle dans le fonctionnement des lagunes. Car, elle favorise l'abattement du taux des matières en suspension (filtration de la biomasse phytoplanctonique). Les principaux organismes sont les protozoaires. Ils constituent le seul zooplancton hivernal réellement abondant dans les derniers bassins de lagunage, les rotifères. Quant aux copépodes, cladocères, leur rôle est intéressant. Car, elles favorisent l'abattement du taux des matières en suspension (**Achouri, 2003**).

5.3 Les bactéries

Ce sont des micro-organismes. Ils peuvent dégrader et assimiler une grande partie de la matière organique contenue dans les eaux usées. Ces bactéries rejettent dans le milieu des produits de dégradation qui sont les matières minérales solubles et les gaz dissous. On constate une régulation naturelle du taux bactérien en fonction de la matière organique présente dans le milieu et des autres conditions de développement (température, ensoleillement, pH, oxygène dissous...).

Quelque soit le processus biologique considéré, on trouve :

- **Les bactéries aérobies:** qui transforment en présence d'oxygène dissous, la charge organique dissoute en matières minérales (nutriments) et gaz.
- **Les bactéries anaérobies:** réalisent la transformation de la matière organique au niveau des sédiments (**LIBES, 2010**).

6. Les avantages et les inconvénients du lagunage naturel

Les principaux avantages et inconvénients de traitement biologique par lagunage naturel (**Berland et al, 2001**) sont :

✓ Les avantages du lagunage naturel :

- Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable ;
- Élimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (en été) ;
- S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ;
- Bonne intégration paysagère ;
- Bon outil pour l'initiation à la nature.

✓ Les inconvénients du lagunage naturel :

- Qualité du rejet variable selon les saisons ;
- La maîtrise de l'équilibre biologique et des processus épuratoires reste limitée ;
- Difficultés d'extraction des boues ;
- Surface nécessaire très importante ;
- Rendement faible au climat froid.

Matériels et méthodes

Partie I: L'incorporation des fibres de palmier dattier (Phoenix dactylifera) dans la production du substrat horticole destiné à la culture du concombre (Cucumis sativus) cultivé en hors sol.

1.1. La serre expérimentale

La serre est de forme hémicylindrique de quinze mètres de long, sur huit mètres de large ; soit une surface de cent vingt mètres carrés. Le matériau de couverture est du polyéthylène. L'orientation de la serre est nord-est, le renouvellement de l'air est assuré par deux portes frontales et par l'écartement entre les films de plastiques en cas de forte chaleur.

L'équipement de la serre est composé d'un bac de stockage de la solution, d'un réseau d'irrigation de goutte à goutte et de planches-support pour les pots. Cet équipement est parfaitement adapté à notre expérimentation.

1.2. La solution hydrominérale et pilotage de la fertigation

La solution utilisée (Tableau 4) était caractérisée par un pH = 5,5, une EC = 2,5 Mmho et un rapport $(K^+) / (Ca^{2+} Mg^{2+}) = 0,62$. Selon **Latigui (1992)** ; ce taux avoisinant 0,67 permet la meilleure absorption de tous les éléments. Les oligoéléments et le Fer ont également été ajoutés dans la solution.

Tableau 4 : Composition de la solution nutritive utilisée dans l'expérimentation

Anions Cations	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Totaux
Ca ⁺⁺	6			6
K ⁺		5		5
Mg ⁺⁺			2	2
H ⁺	2			2
Totaux	8	5	2	15

La fertigation a été appliquée avec un système localisé d'irrigation par goutte à goutte. L'EC et le pH du drainage ont été ajustés respectivement à 2,5 m sec cm-1 et 5,5-6,5. La fertigation dépend de la phase de développement de la plante ainsi que des facteurs climatiques (**Salas et Urrestarazu, 2001**). L'EC et le pH ont été analysés directement dans la serre tous les 3 jours. L'EC du drainage a par moment, légèrement augmenté au cours du

cycle végétatif. Toutefois, elle n'a jamais atteint des valeurs nuisibles à la croissance des plantes.

Le taux de drainage a été maintenu entre 30 et 40% de la solution d'apport. Ce taux évite l'accumulation des sels dans la rhizosphère (**Latigui et Dellal, 2009; Munoz et al; 2008**). Selon ces facteurs, la fertigation est déclenchée entre 3 et 4 min toutes les 2 h pendant la journée jusqu'au coucher du soleil. Parce que, l'irrigation en petites quantités à haute fréquence est nécessaire pour maximiser la productivité des cultures en hors sol (**Schroder et Lieth, 2002**).

1.3. La terre végétale (TV)

La TV a été recueillie aux alentours du laboratoire à 30 cm de la surface du sol (Tableau 2). Son pH est de 8. Alors, que le pH recommandé pour les cultures maraîchères doit varier entre 5.5 et 6.5 (**Latigui, 1992**). Donc, une correction par la solution nutritive était impérative pour une croissance normale des plantes. Son Ec est égale à 1000 mS/cm, ce qui permet un apport en nutriments. Car, pour ces cultures l'EC peut dépasser 2000 mS/cm sans risque de salinité (**Skiredj, 2005**). Ce sol a les principales caractéristiques suivantes : 25.9% de Sable grossier, 6% de limon grossier, 6% de sable fin, 2% d'argile, 26.1% de calcaire totale et 1.4% matière organique. 2 % argile. Par conséquent, et selon **Viscarra et al ; (2015)** et **Ballabio et al ; (2016)**, il est calcaire et sablo limoneux avec un faible taux de matière organique; d'où la nécessité de l'améliorer.

Tableau 5: Caractéristiques de la TV utilisée dans l'expérience

Paramètres		Résultats
Granulométrie %	Argiles	11.87
	Limons grossiers	57.62
	Limons fins	01.93
	Somme des limons	59.55
	Sables fins	23.47
	Sables grossiers	04.81
	Somme des sables	28.28
Texture		L.S
M.O %		
CaCO ₃ total %		5.94
C.E ds /m		0.122
N total % (Kjeldhal)		0.315
P assim (Olsen)		
Ca meq /100 g		38.35
Mg meq / 100 g		1.33
Na meq / 100 g		0.78
K meq / 100 g		1.82

1.4. Les fibres du palmier (FP)

Les fibres lignocellulosiques de *P. dactylifera* (PF) ont été prélevées à l'aisselle de la feuille de palmier sur les troncs d'arbres situés à Ouargla (5 ° 19'40 "E / 31 ° 57'27" N) une ville du sud de l'Algérie. Les FP sont préférables en termes de coût de disponibilité et de capacité à absorber l'eau (**Rozman et al; 2000**). Elles ont été prélevées sur l'aisselle des palmes sur la partie inférieure des stipes. Elles ont été coupées en petits morceaux d'environ 2 mm pour obtenir un adsorbant de taille appropriée pour le mélange Fibre- terre végétale.

1.5. La tourbe

La tourbe témoin (TM) utilisée, à les caractéristiques physico chimiques (%) : 85, 78, 84 pour respectivement la porosité, la capacité de rétention en eau et la matière organique. Sa rétention en eau et sa CEC sont respectivement 78 g d'eau/ 100 g et 75.5 meq/100g. Ce matériau présente donc, un bon réservoir de nutriments avec un pH de 5,4 favorable à l'absorption de tous les éléments (**Latigui et al; 2013**).

1.6. Matériel végétal et conduite de la culture

Avant de procéder au semis nous avons soumis les graines du concombre (*Cucumis Sativus*) variété 'Geroum' à une pré-germination dans des boîtes de pétri contenant des papiers buvards imbibés d'eau et placées dans une étuve à une température constante de 25 C° pendant 72 heures. Nous avons obtenu des germes avec une faculté germinative de 90%.

Les germes ont été semés dans 6 plaques différentes de 60 alvéoles chacune. Chaque plaque contenait l'un des substrats expérimentés. L'ensemble était déposé dans un petit tunnel à l'intérieur de la serre.

Après 45 jours de semis, les jeunes plantules au stade végétatif 4 à 5 feuilles ont été transplantées dans les pots contenant les différents substrats. Après la transplantation, les plantules ont été irriguées avec de l'eau du robinet pendant les 45 premiers jours deux fois par jour. Les pots utilisés sont en polyéthylène de 4,5 litres de volume avec une profondeur de 20cm. Ils présentaient des orifices de drainages à la base. Une taille monopodiale a été réalisée. Celle-ci a permis un palissage adapté à notre dispositif expérimental.

Durant les premiers jours suivant la transplantation, l'arrosage des plantes était effectué à l'eau de ville avec un débit de 1000 ml/plaque/J. Puis les doses d'irrigation ont augmenté avec la croissance des plantes.

Après la transplantation en serre expérimentale, l'arrosage par la solution nutritive a été effectué par le système d'irrigation goutte à goutte. Les doses et fréquences d'irrigation étaient de 3 minute /2 heures. La fréquence était d'une moyenne de 6 fois par jour. Elle dépendait du pourcentage de drainage qui était réglé entre 30 à 40% de la quantité apportée.

Le microclimat créé dans la serre pouvait favoriser le développement des parasites et des maladies. Pour cela, nous avons réalisé des traitements préventifs contre les maladies cryptogamiques en utilisant un fongicide systémique (CURTINE). Il a un effet curatif et préventif, la dose utilisée était de 2,5 g/l.

1.7. Protocole Expérimental

1.7.1. Les traitements

Cinq substrats ont été élaborés à partir de FP d'une part, et la TV d'autre part. Ils représentaient les cinq traitements. La tourbe commerciale représentait le témoin (TM) a été utilisée en pépinière. Elle est composée de 35% de matières sèche, de 30% de matières

organique. Sa capacité de rétention en eau est de 700 ml/l. C'est un produit importé de l'étranger.

Les compositions des différents traitements étaient les suivantes :

- T (10-0) : 100% de FP,
- T (9-1) : 90% FP + 10% de TV,
- T (8-2) : 80% de FP + 20% de TV,
- T (7-3) : 70% FP + 30% de TV,
- T (6-4) : 60% de FP + 40% de TV,
- TM : témoin composé d'une tourbe commerciale.
- TV : terre végétale, en culture après la transplantation en pots, nous avons utilisé, également la terre végétale comme deuxième témoin.

Cinq répétitions ont été utilisées pour chaque traitement représentant les différents substrats; soit six traitements par 5 répétitions, d'où un total de 35 répétitions.

Les 35 pots étaient repartis sur des supports métalliques surélevés à 40 cm du sol. L'espace entre deux pots est de 40 cm. Cette structure permettait la récupération des drainages sous chaque pot à des fins d'analyse et de pilotage de la fertigation.

Notre étude a été réalisée en trois étapes successives :

- l'analyse physico chimiques des substrats au laboratoire ;
- l'effet des substrats sur le développement racinaire et la croissance des plants en pépinière ;
- l'effet des substrats sur la croissance et la production des fruits en serre.

1.7.2. L'analyse physico chimiques des substrats au laboratoire

Dans cette expérience, les propriétés physico-chimiques des substrats ont été étudiées étaient:

- la PT ;
- le TH ;
- la DA ;

- le TD ;
- le pH ;
- l'EC.

La PT est calculée par la relation eau drainée/volume du cylindre. Le substrat est rempli dans un cylindre. Ce cylindre est saturé d'eau puis laissé drainer. Le volume d'eau drainée sur volume du cylindre multiplié par 100 nous a donné la PT :

$$PT [\%] = [\text{volume des vides} / \text{volumes total}] \times 100$$

Pour le TH, la méthode consistait à sécher dans un four à 105 °C pendant 24h un échantillon de sol et connaître ensuite par pesée finale (ramenée à la pesée initiale) le poids d'eau contenu par l'échantillon.

$$TH (\%) = [PH - PS] \times 100$$

PH

TH : Taux d'humidité

PH : Poids du substrat humide

PS: poids du substrat séché à 105°C pendant 24 heures.

La DA a été évaluée par la méthode au cylindre selon le protocole de **Sambo et al. (2008)**. Elle est représentée par le poids des graines solides par volume de terre ou de substrat. Les substrats étudiés ont été légèrement humidifiés et placés dans des cylindres. Les contenus des cylindres ont été séchés au four à une température de 70 ° C pendant 24 h.

Après le processus de séchage, les substrats ont été pesés. Le poids a été divisé par le volume du cylindre utilisé pour chaque substrat

$$DA(\%) = (PS_{\text{sub}} / V_c) \times 100$$

DA: densité apparent

PSsub: poids sec du substrat contenu dans le volume

V : volume du cylindre

Pour le TD, les pots ont été remplis avec les différents substrats représentant les traitements. Ils ont été fermés à la base et saturés d'eau. Le drainage a été récupéré et évalué.

La mesure du pH a été faite par la lecture directe sur pH-mètre, d'une suspension formée de 10g de substrat dissous à l'aide d'un agitateur pendant 30mn dans 25ml d'eau distillée.

La EC est un indicateur très important dans le pilotage d'une fertirrigation. Car, c'est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol. Elle exprime approximativement le degré de salinité du substrat. Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques, augmentent (**BAIZE, 2000**). Elle est exprimée en millimho (mmho.cm-1) ou en mS.cm-1 (milli Siemens .cm-1).

Des préparations aqueuses d'un rapport substrat/eau (1/5) ont été faites pour chaque échantillon. La EC a été mesurée par conductivimètre exprimée en mS.cm-1.

1.7.3. L'effet des substrats sur le développement racinaire et la croissance des plantules en pépinière.

Cette expérience a été menée dans une pépinière en serre expérimentale. Elle a duré 45 jours. Elle a concerné l'élevage de plants du *C.sativus* destinés à l'expérimentation. Les germes concombre ont été semés directement dans 60 cellules de 6 plateaux contenant chacun un des substrats testés. Les plantes ont été irriguées à l'eau du robinet pendant les 45 premiers jours deux fois par jour.

Les plantules ont été retirées récupérées des alvéoles et lavées soigneusement. Les mesures ont porté sur les paramètres morphologiques au niveau de chaque plant représentant les différentes répétitions de chaque traitement.

Les principaux paramètres du développement racinaire cités par **Wang et al (2009)** ont, alors, été étudiés. Il s'agissait de :

- la MSA,
- la MSR,
- le VR,
- la LR,
- le NR,
- la DR.

Pour la MSA et MSR, les plantes ont été sectionnées au niveau de collet. Les deux parties aériennes et souterraines sont récupérées distinctement. Les échantillons ont été mis à l'étuve à 105°C pendant 24 heures. Après séchage, les échantillons ont été pesés pour déterminer MSR

et MSA. Les rapports entre les deux poids ont ensuite été calculés pour déterminer l'impact du développement d'une partie vis-à-vis de l'autre et vice versa.

Concernant les VR, les racines ont été soigneusement retirées du substrat et lavées à l'eau. Ensuite, ils ont été trempés dans un tube à essai gradué rempli à moitié d'eau pour ensuite mesurer le volume d'eau déplacé. Les mesures ont porté sur le volume global des racines et sur ceux de la partie supérieure et inférieure séparément.

La LR a été calculée du collet au sommet de la racine principale. Car, selon (**Canadell et al, 1996**), la répartition verticale de la racine et la profondeur d'enracinement maximale varient sensiblement entre les espèces et en fonction de la texture du sol et de la disponibilité des nutriments. Ce paramètre a été mesuré au niveau de chaque répétition à l'aide d'une règle graduée depuis le collet jusqu'à l'extrémité inférieure de la racine.

Le NR a été effectué à l'œil nu par comptage des racines qui dépassaient 2 cm. Quant à la DR, La partie supérieure du collet au milieu des racines représentait la partie supérieure. La partie inférieure était représentée du milieu à l'apex des racines des racines. Dans cette expérience, le pourcentage d'occupation de la partie supérieure de la racine rapportée au volume total a été calculé. En général, la biomasse des racines est fortement concentrée dans la surface (**Christine et al, 2017**). L'arrangement spatial du système racinaire de la plante est très sensible à l'état nutritionnel du sol et de la plante (**Zaigham et Amtmann, 2017**).

1.7.4. Effet sur la production du concombre en serre expérimentale

La troisième expérience a été réalisée en serre expérimentale. Les plantules de concombre de chaque substrat ont été transplantées dans des pots de 1,5 L contenant les substrats étudiés et la terre végétale comme témoin. Après 120 jours de croissance, nous avons étudié la LR, le VR, et MSR ainsi que la production de fruits.

A la fin de l'expérimentation et après la récolte les pots sont vidés de leur contenu, les plantes sont soigneusement récupérées et lavées et les mêmes critères étudiés pour les plantules sont répétés pour les plantes.

Le volume racinaire, la longueur des racines, la matière sèche racinaire et la production des fruits ont été étudiés dans cette expérience.

1.7.5. Analyse statistique

Un dispositif complètement en blocs avec cinq répétitions par traitement a été mené. L'analyse de la variance (ANOVA) a été utilisée pour analyser pour l'ensemble des résultats

de cette étude. Le logiciel utilisé est Statistica 7.5 beta. La comparaison des moyens était basée sur le test de Duncan à 5 et 1% de niveau de probabilité.

*Partie II : L'effet de la boue d'épuration de la station de Ghardaïa et les fibres de palmier dans l'élevage en pépinière de *Ceratonia siliqua**

1. Situation géographique de la station d'épuration d'EL-ATTEUF de Ghardaïa

Notre étude effectuée dans la wilaya de Ghardaïa, elle se situe à 600 km au sud d'Alger au centre de la partie Nord du Sahara. La wilaya couvre une superficie de 86 560 km² (32-23 N, 003-49 E). La population est estimée à 413560 habitants, en 2011. La wilaya de Ghardaïa compte 13 communes. Elle est limitée:

- Au Nord par les wilayas de Laghouat et Djelfa,
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset,
- A l'Est par la wilaya d'Ouargla
- A l'Ouest par les wilayas d'Adrar et d'El-Bayad (**Rapport Technique, 2011**).

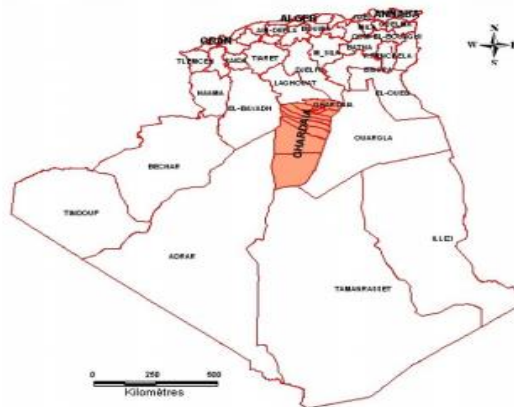


Figure 3: Situation géographique de la région d'étude (**Rapport Technique, 2011**)

2. La station d'épuration de Kef Eddoukhan

La station d'épuration est située dans la commune d'El-atteuf. Elle constitue l'aval de la vallée du m'zab d'une superficie de 80 ha. Elle est située à environ 21 km au sud-est de Ghardaïa. Cette station a été mise en service en 29-10-2012. Elle traite les eaux usées urbaines par le procédé du lagunage naturel. Les communes raccordées à la STEP sont : Ghardaïa, Bounoura, El Atteuf, par un réseau d'assainissement de type unitaire.

2.1. Dimensionnement de la STEP de Kef Eddoukhan

Les capacités, les caractéristiques de la STEP sont les suivantes :

- Capacité: 331700 eq /hab

- Surface totale:80 ha
- Nombre de lit de séchage: 10 lits
- Nombre de bassins: 16 bassins divisés en deux niveaux
- Débit moyen journalier à capacité nominale : 46 400 m³/j.



Figure 4 : la station d'épuration Kef Eddoukhan

3. Production de la boue

La production de boue passe par les étapes de traitement suivantes :

3.1. Collecteur principal

Il est composé de deux conduites de 1000 mm de diamètre permettant l'évacuation des eaux usées depuis la rentrée à la station jusqu'à fin du traitement des eaux usées.



Figure 5: collecteur principal

3.2. Prétraitement

Les collecteurs urbains d'eaux usées véhiculent des matières très hétérogènes et souvent volumineuses. A l'arrivée dans la station d'épuration, les eaux "brutes" doivent subir, avant leur traitement proprement dit, des traitements préalables de dégrossissage, appelés "pré traitements" et destinés à extraire des effluents la plus grande quantité possible d'éléments

dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs. Le prétraitement comporte les étapes suivantes:

- **Dégrillage/dessablage**

Le dessableur et le dégrilleur sont localisés à l'intérieur du répartiteur principal du traitement primaire. Le système comprend un ensemble de deux dégrilleurs automatiques (espace entre barreaux de 25 mm) disposés en parallèle. Ces dégrilleurs sont conçus pour éliminer les déchets grossiers entraînés par les eaux s'écoulant dans les canalisations d'assainissement. Au niveau de la jonction avec le collecteur principal des eaux usées de l'ensemble des collecteurs des différents bassins de collecte sont prévus des dispositifs de dessablage. Toutefois, la station n'est pas équipée par un déshuileur.



Figure 6: Dégrillage/dessablage

3.3. Répartiteurs principaux

La répartition des débits vers les huit lagunes primaires opère au niveau du répartiteur principal disposé en tête de chacun des deux niveaux d'épuration, cet ouvrage se compose des éléments suivants, d'amont en aval :

- À l'aval immédiat des canaux de dégrillage (pour le répartiteur primaire), une cloison siphonide participe à la tranquillisation des flux,
- L'élargissement de la section de l'ouvrage permet de ralentir le cheminement des eaux usées avant leur passage sur un seuil frontal décomposé en huit seuils de largeur 1m.
- Les eaux usées se déversent dans deux chambres d'où partent les deux conduites de diamètre 1000mm de liaison avec les répartiteurs secondaire



Figure 7: Répartiteur primaire

3.4. Répartiteur secondaire

Ils sont destinés à répartir les eaux usées vers les lagunes d'un même étage de traitement (primaire ou secondaire)



Figure 8 : Répartiteur secondaire

3.5. Traitement primaire

Il constitue de 8 lagunes anaérobies d'une superficie de l'ordre de 0,62 ha et d'une profondeur d'eau de 3,6 m, le volume d'une seule lagune est de 21753,56 m³, les lagunes sont alimentées en parallèle, le temps de séjour dans ces bassins est de 10 /15 jours



Figure 9: bassins primaires

3.6. *Traitement secondaire*

Il est constitué de 8 lagunes d'une superficie de l'ordre de 3,8 ha et d'une profondeur d'eau de 1,6 m, le temps de séjour dans ces bassins est de 20 à 25 jours. Ces bassins aérobies permettent d'accélérer la composition de la matière organique par les bactéries aérobies. La faible profondeur de 1,6m facilite l'aération et le brassage par le vent et la photosynthèse.

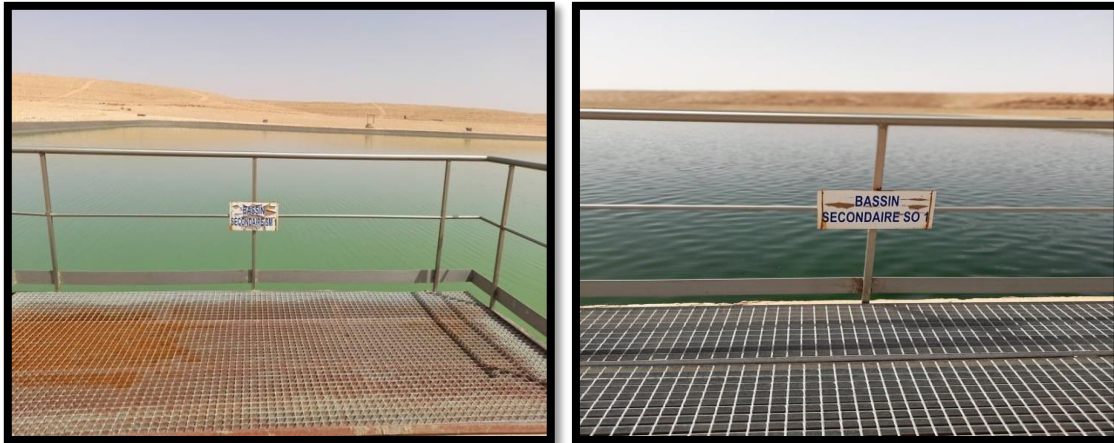


Figure 10 : Bassins secondaires

3.7. *Déshydratation des boues*

Les lits de séchage sont implantés à une cote supérieure à celle des lagunes afin de pouvoir évacuer les lixiviats drainés vers les lagunes de manière gravitaire. Ils sont au nombre de 10 lits. Toutefois, la station n'est pas équipée par un traitement tertiaire

4. *Matériel utilisée*

4.1. *Le compostage*

4.1. 1. *La boue d'épuration*

La boue utilisée dans notre étude provient d'un échantillonnage de la station d'épuration de la ville de Ghardaia, Algérie (32-23 N, 003-49 E). Elle a été ramenée le 17-07-2019 directement de stockage. Elle est de couleur brune et sans odeur désagréable. Son pH, EC et C/N étaient 7.6 ; 2.41 mS.cm⁻¹ et 29 respectivement. Le Ca total, le Ca actif, P, K, la matière organique, le C et le N étaient composés respectivement de 30; 14 ; 0.9, 0.19, 12.4 ; 4.64; 0.16 %. En ce qui concerne les autres éléments, sa composition: Cu, Zn, Mn et Fe était respectivement; 187.4; 745; 102.4 et 100 100, Selon **Dudkowski, (2009)** ; **Latigui et al., (2013)**, les concentrations de métaux lourds sont inférieures au seuil de dangerosité pour l'Homme et l'environnement.



Figure 11: la boue d'épuration

4.1.2. Les fibres de palmier utilisé

Fibres lignocellulosiques de *P. dactylifera* ont été prélevées à l'aisselle des feuilles des palmiers mâles provenaient d'une oasis située à Ghardaia Algérie (32-23 N, 003-49 E). Elles ont été coupées en petits morceaux d'environ 2 mm pour obtenir un adsorbant de taille appropriée pour le mélange fibre- terre végétale,



Figure 12: les fibres de palmier

L'utilisation de déchets de palmier, substrat ligno-cellulosique, permettra de :

- Favoriser l'aération du mélange à composter, comme agent structurant.
- Favoriser un rapport C/N optimal pour l'activité des microorganismes, étant donné que le rapport C/N des boues est faible.
- Enrichir le milieu en molécules ligno-cellulosiques considérées comme des précurseurs de substances humiques. (El Fels, 2014)

4.1.3. Sol

La terre végétale utilisée à une texture sableuse. La composition de ses principaux constituants chimiques est de: C organique, N total, le P disponible et le K échangeable est de 8.90; 25.30 ; 14; 30,6 mg .Kg⁻¹. Son pH, sa CE et sa CEC étaient respectivement de 7,5; 1.20 mS cm⁻¹ et 18 ,6 meq /1 00 g de sol respectivement.

Tableau 6: Caractéristiques de la TV utilisée dans l'expérience

Paramètres	Résultats
C organique (mg .Kg ⁻¹)	8.90
N total (mg .Kg ⁻¹)	25.30
P (mg .Kg ⁻¹)	14
K (mg .Kg ⁻¹)	30,6
Ph	7,5
CE (ms.cm ⁻¹)	1.20
CEC (meq /100 g)	18,6

4.2. Matériel végétale

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est une essence méditerranéenne très plastique, héliophile, thermophile, très résistante à la sécheresse (200 mm de pluie/an) mais pas au froid (0° C minimum). Il s'adapte à plusieurs types de sols. On le rencontre généralement sur les sols pauvres, sablonneux, limoneux lourds, rocaillieux et calcaires, schisteux, gréseux et des pH de 6,2 jusqu'à 8,6, mais il craint les sols acides et hydromorphes (BAUM, 1989 ; SBAY et ABOUROUH, 2006)

5. Protocole expérimental

Partie I : La transformation des composants organiques en composants humiques stables

La terre végétale (TV) et les fibres de palmier (FP) et les boues résiduaires (BR) sont les trois substrats utilisés lors du compostage. Ils représentaient les quatre substrats représentant les traitements.

Le CC des BR et des FP par des volumes égaux pendant 6 mois. Ce mélange est nécessaire. Car, en raison de la forte teneur en humidité, la BR doit être mélangée avec de la TV pour ajuster la teneur en eau (Yañez et al ; 2009) et favoriser la PT(Lu et al; 2008). Par ailleurs et selon Semple et al; (2001), cette période est nécessaire pour l'obtention d'un compost mature constitué d'une matière organique humifiée et stabilisée. La dégradation des constituants organiques de la BR est due essentiellement aux conditions anaérobiques, par l'élévation de la température. Après maturation, les composts ont été passés à travers des tamis de 6 mm avant d'être utilisés (Jakboub et al; 2021). Les traitements utilisés lors d'expérience sont représenté dans le tableau suivant:

Tableau 7: Les traitements utilisés lors d'expérience

Traitements	Les substrats
Traitement 01 (8-2)	80% V S1+ 20% V terre végétale
Traitement 02 (7-3)	70% V S1 + 30% V terre végétale
Traitement 03 (6-4)	60% V S1+ 40% V terre végétale
Traitement 04 (0-10)	100% V terre végétale

S1 → composé de 50% boues résiduaire et 50% fibres de palmiers

1. Caractéristiques physiques et chimiques des substrats testés

Dans cette expérience, les propriétés physiques des substrats a été déterminées chaque mois pendant six mois par les méthodes de **Spomer (1990)** et de **Webber et al; (1999)** ainsi que les propriétés chimiques. Les principales caractéristiques étudiées sont:

- la Porosité Totale (PT),
- le taux d'humidité (TH),
- densité apparente (DA),
- le taux de drainage (TD),
- le pH,
- l'électroconductivité (EC).

1.1.La Porosité Totale (PT)

Elle est calculée par la relation eau drainée/volume du cylindre. Le substrat est rempli dans un cylindre. Ce cylindre est saturé d'eau puis laissé drainer. Le volume d'eau drainée sur volume du cylindre multiplié par 100 nous a donné la porosité totale :

$$PT [\%] = [volume\ des\ vides / volumes\ total] \times 100$$

1.2.Taux du drainage (TD)

Les pots ont été remplis avec les différents substrats représentant les traitements. Les pots fermés à la base ont été saturés. Les trous de la base ont été ouverts et drainage a été récupéré et évalué. C'est le % du volume drainé par rapport au volume apporté.

1.3. Le taux d'humidité (TH)

La méthode consistait à sécher dans un four à 105 °C pendant 24h un échantillon de sol et connaître ensuite par pesée finale (ramenée à la pesée initiale) le poids d'eau contenu par l'échantillon.

$$TH (\%) = \frac{[PH - PS]}{PH} \times 100$$

{	<i>TH</i> : Taux d'humidité	}
	<i>PH</i> : Poids du substrat humide	
	<i>PS</i> : poids du substrat séché à 105°C pendant 24 heures.	

1.4. Densité apparente (DA)

Dans notre cas, elle a été évaluée au laboratoire par la méthode au cylindre selon le protocole de **Sambo et al. (2008)**.

La densité apparente (DA) est le poids des graines solides par volume de terre ou de substrat.

Les substrats étudiés ont été légèrement humidifiés et placés dans des cylindres. Les contenus des cylindres ont été séchés au four à une température de 70 ° C pendant 24 h.

Après le processus de séchage, les substrats ont été pesés. Le poids a été divisé par le volume du cylindre utilisé pour chaque substrat

$$DA(\%) = (PS_{sub} / V_c) \times 100$$

DA: densité apparent

{	<i>PS_{sub}</i> : poids sec du substrat contenu dans le volume	}
	<i>V</i> : volume du cylindre.	

1.5. Le pH

La mesure du pH a été faite par la lecture directe sur pH-mètre, d'une suspension formée de 10g de boue dissous à l'aide d'un agitateur pendant 30mn dans 25ml d'eau distillée.

1.6.L'électroconductivité (EC)

L'EC est indicateur très important dans le pilotage d'une ferti-irrigation. Car, c'est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol. Elle exprime approximativement le degré de salinité du substrat. Cette propriété électrochimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques, augmentent (**BAIZE, 2000**). Elle est exprimée en millimho (mmho.cm^{-1}) ou en mS.cm^{-1} (milli Siemens .cm^{-1}).

Des préparations aqueuses d'un rapport substrat/eau (1/5) ont été faites pour chaque échantillon. L'EC a été mesurée par conductivimètre exprimée en mS.cm^{-1} .

Partie III : Effet de différent substrat sur la croissance des semis en pépinière

Les grains du caroubier (*Ceratonia siliqua*) sont dotées d'un épais et dur tégument inhibiteur de la germination (dormance physique). Une scarification naturelle ou artificielle du tégument est nécessaire pour permettre l'imbibition et la germination des graines de caroubier (**GADOUM, 2020**), cette scarification par l'eau bouillante a permis l'accélération de la vitesse de germination et la réduction du temps de latence et de la durée de germination (**Faouzi, 2014**). Les graines sont trempées dans l'eau bouillante pendant 60 secondes, après les graines ont été incubées à 28°C et à l'obscurité pendant 24 heures (**Masamba, 1994 ; Akram Kiani Abari, 2011 ; Ammond et al, 2012**)

Les grains ont été ensemencés dans des petits pots contenant de la terre végétale. Les plantes ont été irriguées avec l'eau de robinet une fois tous les deux jours. Après 60 jours, les jeunes plantules au stade végétatif 9 à 10 feuilles ont été transplantées dans des pots de 1 litre remplis des différents substrats T1 (8- 2), T2 (7- 3), T3 (6- 4) et T4 (0- 10).

Les paramètres de croissance des plants de caroubier élevés dans les quatre substrats T (8- 2), T (7- 3), T (6- 4) et T (0- 10) ont été étudiés après 246 jours. Les plants ont été retirés des substrats et lavés soigneusement, pour étudier les paramètres du développement



Figure 13: la germination de caroubier



Figure 14 : la transplantation des plants

1. Les serres expérimentales

L'expérience a été réalisée dans une serre située à Ghardaia (32-23 N, 003-49 E) Algérie. C'est une serre de forme hémicylindrique de 2 m de hauteur et 4 m de longueur et 3 m de largeur, soit une surface de 12 m². Le matériau de couverture est du film polyéthylène. L'orientation de la serre est nord-est, le renouvellement de l'air est assuré par une grande porte. Cette serre est équipée d'un système d'irrigation goutte à goutte. Il permet selon (**latigui et al ; 2013**) une homogénéité de fertigation des plantes.



Figure 15: la serre expérimentale

2. Les paramètres du développement

Les paramètres de développement étudiés sont les suivants :

- **Nombre de feuille (NF):** ce nombre des feuilles a été effectué à l'œil nu
- **La distribution des racines (DR)** représentait le pourcentage d'occupation de la partie supérieure de la racine rapportée au volume total
- **Volume de racine (RV) :** les racines ont été soigneusement retirées du substrat et lavées à l'eau. Ensuite, ils ont été trempés dans un tube à essai gradué rempli à moitié d'eau pour ensuite mesurer le volume d'eau déplacé. Le VR a, ainsi, été évalué.

Les mesures ont porté sur le volume global des racines et sur ceux de la partie supérieure et inférieure séparément.

- **Le nombre des racines (RN) :** ce nombre a été effectué à l'œil nu par comptage des racines qui dépassaient 2 cm.
- **Longueur de racine (RL) :** elle a été calculée du collet au sommet de la racine principale à l'aide d'une règle graduée. Car, selon (**Canadell et al.1996**), la répartition verticale de la racine et la profondeur d'enracinement maximale varient sensiblement entre les espèces et en fonction de la texture du sol et de la disponibilité des nutriments
- **Matière fraîche de la partie aérienne(MFA) :** cette matière a été effectuée par pesée pour déterminer la masse des racines et la masse de partie aérienne

- **Matière sèche aérienne et racinaire (MSA et MSR) :** les deux parties aériennes et souterraines sont récupérées distinctement pour la détermination de la matière sèche. Celle-ci s'est faite par étuvage à 105°C pendant 24 heures. Après séchage, les échantillons ont été pesés pour déterminer MSR et MSA.

3 . Traitements et analyse statistique

Trois substrats composés de différents rapports volumiques ont été testés T [%CC :%TS] : T (8-2), T (7-3) ; T(6-4) et T (10- 0). Les données obtenues ont été soumises à une analyse randomisée de la variance en bloc complet (ANOVA) et les moyens de traitement ont été séparés par un test LSD. Une conception avec cinq répétitions par traitement a été réalisée.

Résultats et discussions

*Partie 1 : L'incorporation des fibres de palmier dattier (*Phoenix dactilifera*) dans la production du substrat horticole destiné à la culture du concombre cultivé en hors sol.*

1. Étude des propriétés physico-chimiques des substrats élaborés

Pour tous les résultats, l'analyse de variance a montré un effet très significatif des substrats sur les propriétés physiques des substrats.

1.1. La porosité totale (PT)

La présence d'une grande quantité de fibres de palmier dans les substrats T (10-0), T (9-1) et T (8-2) a fortement influencé la PT. Elle varie entre de 60 et 61% contrairement aux substrats contenant moins de fibres (Fig. 16). Selon, **Chong (2005) ; Vaughn et al ; (2011)**, la PT dans les substrats doit être comprise entre 50 et 85%. De son côté **Yevtushenko (2016)** a estimé que 48,6% est satisfaisante pour une croissance normale. Elle peut changer en fonction de la dégradation du substrat et la croissance des racines. Elle devient le meilleur indicateur de la distribution des racines (**Dexter, 2004**) et de la nutrition des plantes (**Nazarenko et al. 2004**). Donc, les substrats représentés par les traitements T (10-0), T (9-1) et T (8-2) ont donné la porosité appropriée pour une bonne croissance des plantes.

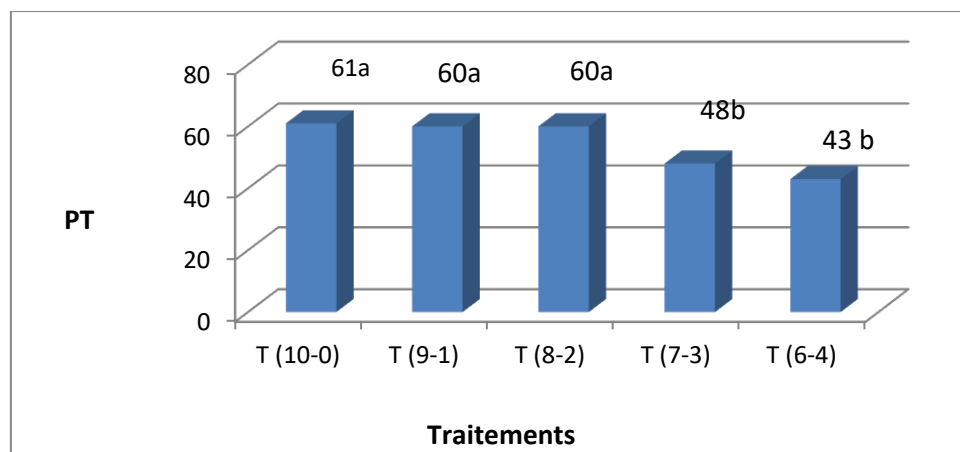


Figure 16 : L'effet des différents substrats sur la porosité totale

1.2. La densité apparente (DA)

La DA est l'un des paramètres les plus importants dans l'étude structurale d'un sol. Elle détermine le volume d'eau et d'air, leur mobilité ainsi que le développement des racines (Nazarenko et al, 2004). Elle affecte la croissance et le développement des cultures et leurs rendements (Lazarev et al; 2000). Elle permet d'évaluer la pénétration des racines dans le sol (Maertens, 1964). Sa connaissance peut permettre de déterminer les travaux de préparation du sol.

Le substrat T (6-4) (Fig. 17) contenant moins de fibre a donné la DA la plus élevée avec 0,99 g cm⁻³. Alors que les valeurs souhaitable est de et 0,75 à 1.2 g cm⁻³ pour les substrats (Vaughn et al; 2011; Noguera et al ; 2003; Monedero, et al; 2004). Ces valeurs se rapprochent avec celles obtenues par les substrats contenant plus de fibres T (10-0) T (9-1), T (8-2) et T (7-3). Ces résultats ont également été trouvés par Chimonidou Pavlidou (1999) sur la perlite. A cet effet, nous constatons que l'introduction des fibres dans les substrats a nettement amélioré la densité apparente.

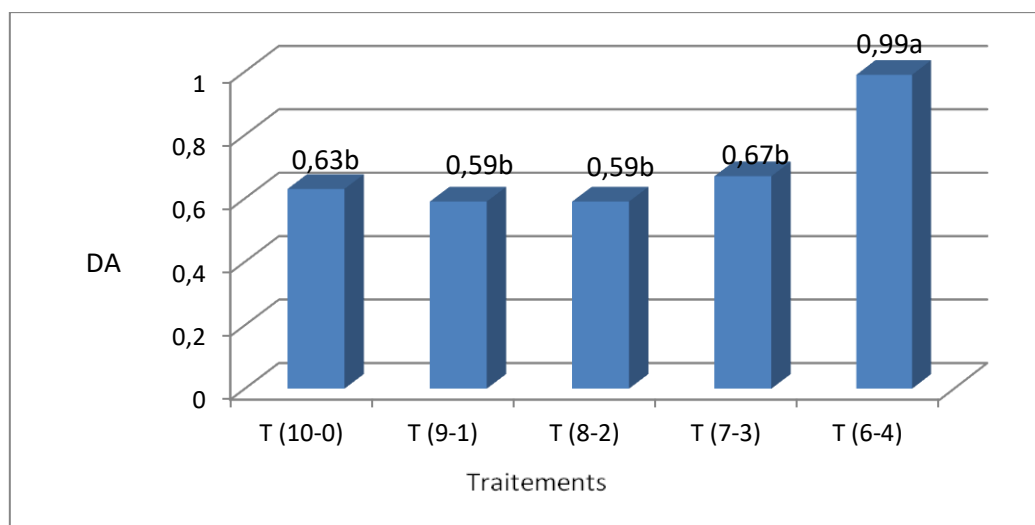


Figure 17 : L'effet des différents substrats sur la DA

1.3. Le taux d'humidité (TH)

Les résultats (Figure18) ont montré que les substrats composés par une quantité élevée de fibres donnaient le TH le plus élevé avec 37% pour T (9-1). En ce qui concerne différents substrats. Chimonidou et al; (2007) a montré que le TH varie entre 25-65%. Ces résultats coïncident avec ceux des substrats composés, en grande partie, par des fibres. Hormis la tourbe, les autres substrats sont dotés d'un taux d'humidité appropriés. Toutefois, les traitements T (9-1), T (8-2) et T (7-3) présentent des taux d'humidité plus favorable à la croissance des plantes.

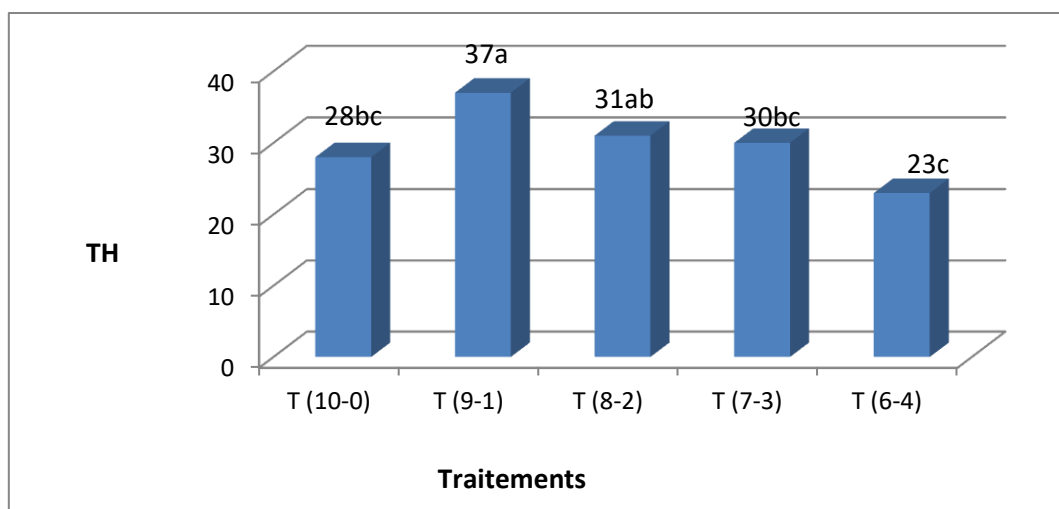


Figure 18: L'effet des différents substrats sur le TH.

1.4. Le taux de drainage (TD)

Les résultats (Fig.19) ont montré que la TD augmente avec une augmentation du taux de fibres dans les substrats. T (10-0), T (9-1), T (8-2) et T (7-3) ont donné un TD variant entre 31-40. **Roerber, (1999); Choi et Latigui, (2008)** ont montré que de tels taux évitent une grande utilisation d'eau, ce qui est nocif pour la croissance des plantes (**Morard, et al. 2000, Adams, 2002**). Les substrats composés de fibres ont nettement amélioré le taux de drainage par rapport à la tourbe.

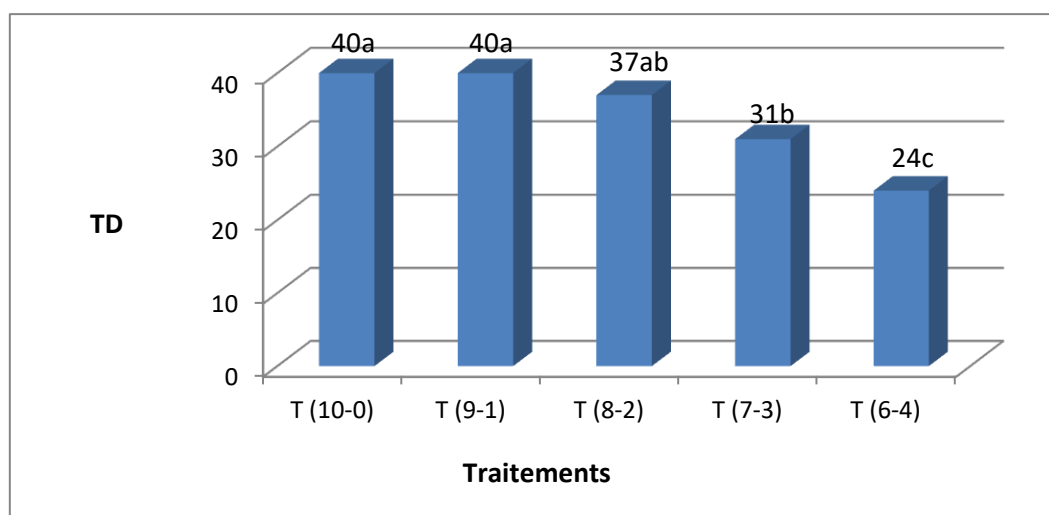


Figure 19 : L'effet des différents substrats sur le taux de drainage

1.5. Le pH

Le pH du drainage doit varier entre 5,5 et 6,5 (**Urrestarazu et al; 2008; Abad et al; 2001**). Les résultats (Fig. 20) ont montré qu'hormis T (10-0), le pH de tous les traitements est relativement plus élevé. Ceci est dû au manque de NO_3 (**Choi et al; 2011**) et NH_4 présents

dans les substrats (Domeno et al., 2009). L'apport dans la solution nutritive d'un engrais acidifiant comme NH_4NO_3 permet l'amélioration du pH (Babiker et al ; 2004). Par conséquent, dans expérience suivante, le pH a été ajusté à 5,8 à 6,0 dans la solution nutritive.

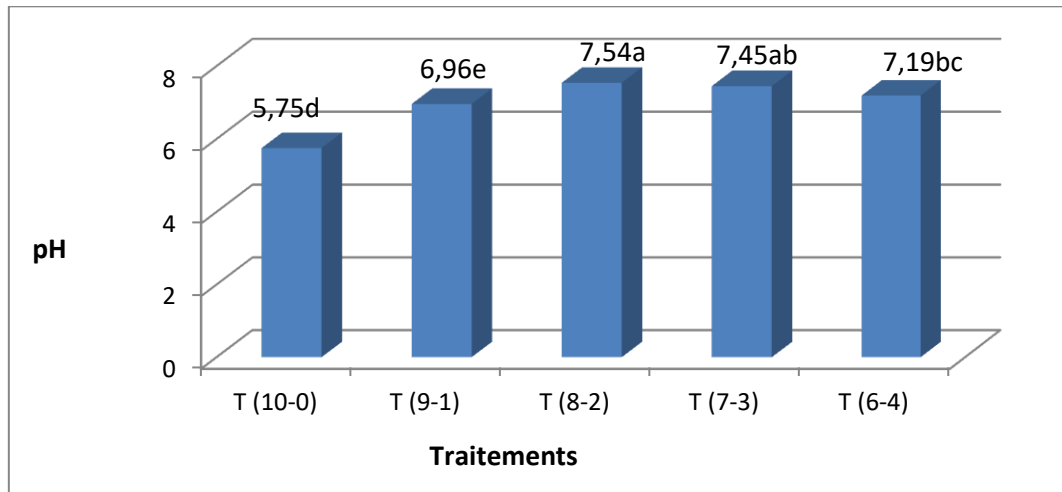


Figure 20: L'effet des différents substrats sur le pH

1.6. L'électroconductivité (EC)

Une augmentation significative de l'EC du drainage par rapport à celle de la solution provoque une salinité nocive causant la phytotoxicité (Latigui, 1992; Choi et al., 2011) et nuit à la qualité et à la quantité de la production (Tabatabei et al., 2006).

Les résultats (Fig. 21) montrent que la plus grande proportion de fibres présente dans T (10-0), T (9-1) et T (8-2) a donné une CE variant de 2.18 à 2.34 mS ; chiffre idéale pour la croissance des plantes (Skiredj 2005). Cette gamme améliore la qualité des fruits et le contenu antioxydant (De Pascale et al, 2001; Keutgen et Pawelzik, 2007; Choi et Latigui, 2008; Skiredj 2005) et diminue le risque de salinité par rapport à T (6-4). Par conséquent, T(10-0), T(9-1) et T(8-2) nous permettent d'augmenter la concentration de nutriments dans la solution d'entrée sans risque d'augmentation de la salinité du substrat.

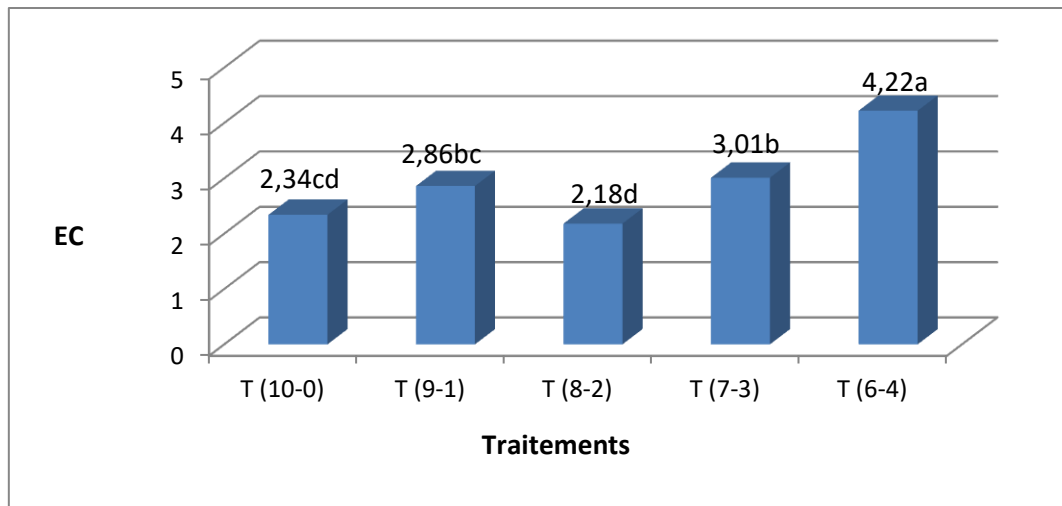


Figure 21: L'effet des différents substrats sur l'EC

2. L'effet des différents substrats sur le développement racinaire et la croissance des plants en pépinière.

Utilisation de différents substrats sur le développement racinaire et la croissance des plants en pépinière

2.1. L'effet sur la croissance des plants

A l'exception du nombre des racines (NR), tous les paramètres de croissance de la racine de *C. cucumis*, 45 jours après le semis, ont été fortement influencés par divers rapports des fibres dans les substrats. Néanmoins, l'utilisation exclusive des fibres en T (10-0) ont entraîné une diminution de la croissance des plantes. Le substrat constitué exclusivement de tourbe a donné des plantes naines et chlorotiques (figure 22).

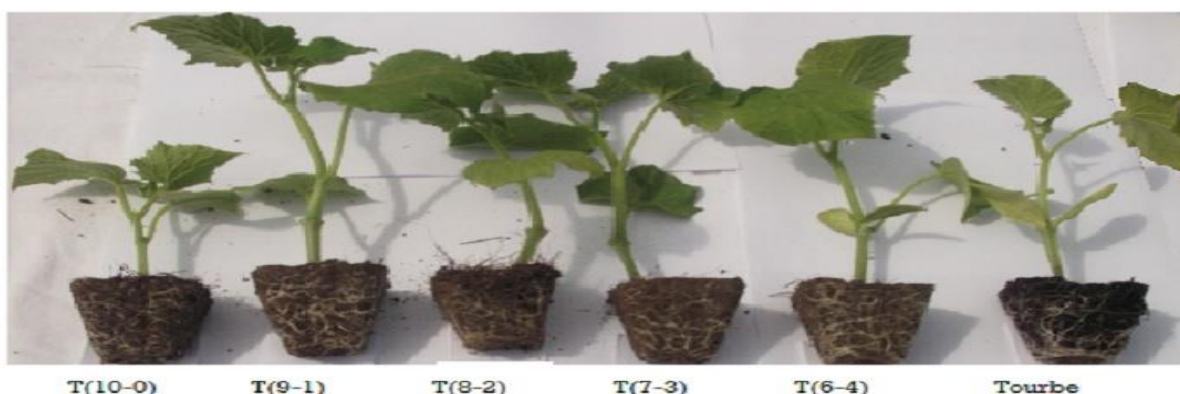


Figure 22: L'effet des différents substrats sur la croissance de *C. sativus* en pépinière 45 jours après le semis

2.1.1. La matière sèche racinaire (MSR)

La plus grande MSR a été obtenue en T (8-2), T (7-3) et T (6-4) (Fig. 23). **Andrews et al. (2001)** ont montré que le stress modéré causé par la sécheresse pourrait entraîner une augmentation de la matière sèche des racines. Dans notre cas, les substrats utilisés ont reçu une dose de fertigation selon un taux de drainage égal à 30-40% de la dose d'apport pour tous les traitements. Ainsi, le seul facteur qui a différencié le traitement était le taux de fibres présent dans les substrats.

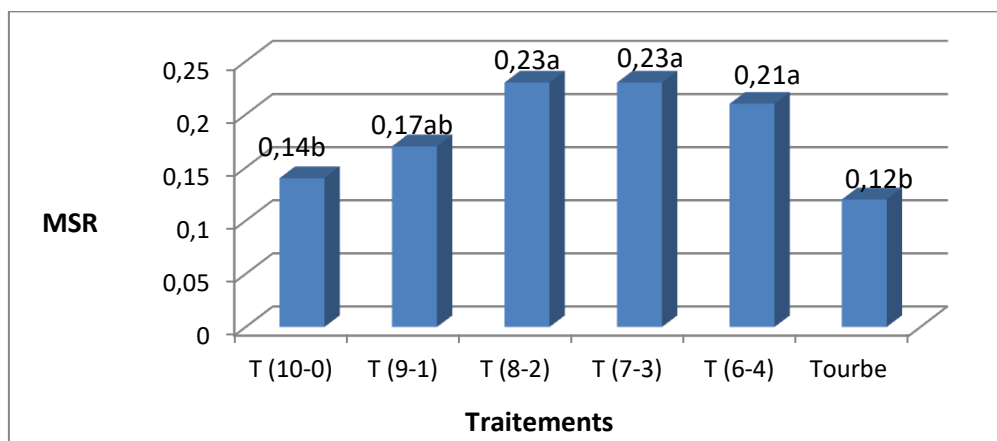


Figure 23: L'effet des différents substrats sur la MSR

2.1.2. La matière sèche de la partie aérienne (MSA)

La MSA (Fig. 24) a également montré des différences significatives entre les substrats. T (8-2) et T (7-3) représente la MSA la plus élevée par rapport aux autres traitements. Cela signifie que l'introduction des fibres dans des substrats a joué un rôle principal. De même, **Rubio et al. (2009)** et **Grigatti et al. (2007)** ont montré que la condition des nutriments affecte les pousses. Dans notre cas, la nutrition était identique pour tous les traitements. A cet effet, les substrats composés de fibres ont influencé l'augmentation de MSA.

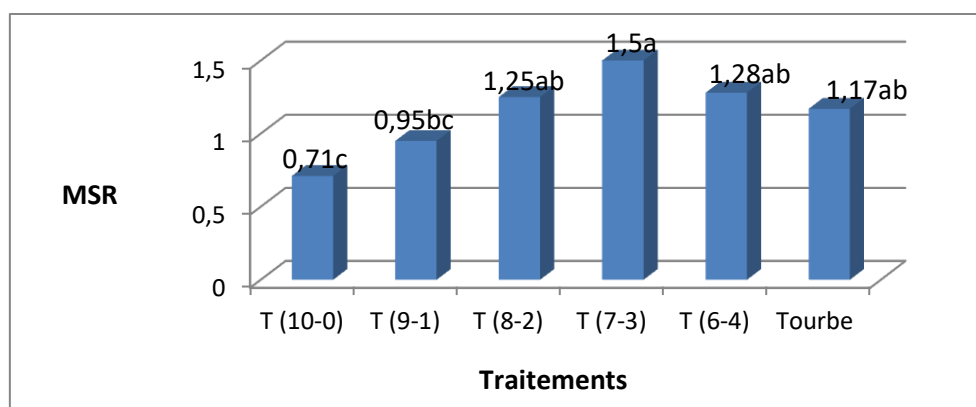


Figure 24: L'effet des différents substrats sur la MSA

2.1.3. Le rapport MSR-MSA

La valeur moyenne du rapport MSR-MSA en T (10-0) était significativement ($p < 0,01$) plus élevée par rapport aux autres traitements (Fig. 25).

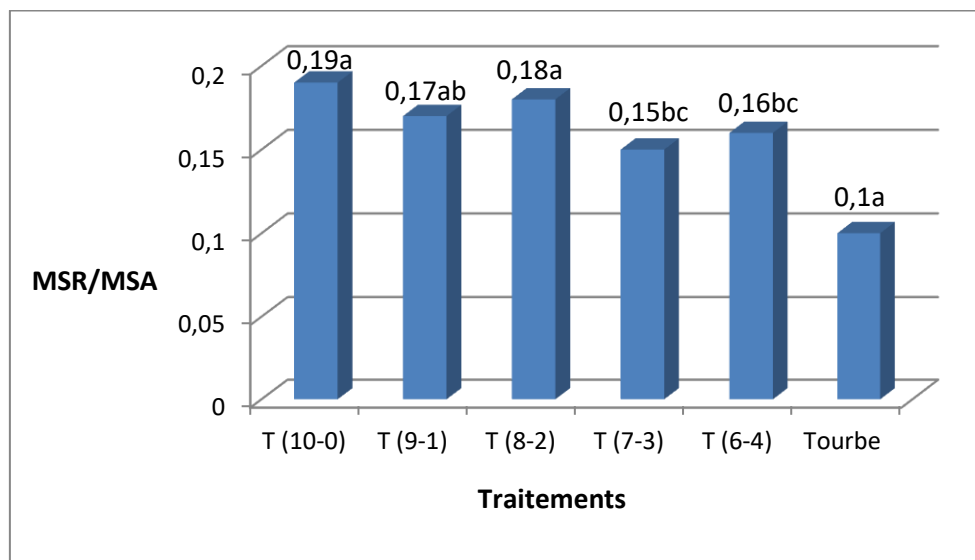


Figure 25: L'effet de chaque substrat sur le rapport MSR/MSA

2.1.4. Corrélation entre MSR et MSA

La corrélation entre MSR et MSA était positivement corrélée pour l'ensemble des plants de tous les traitements. Toutefois, les corrélations pour chaque traitement étaient différentes.

Corrélation globale entre la MSR et la MSA entre les répétitions de tous les substrats était positivement corrélée ($R=0.75$) (annexe 1)

Dans les traitements, T (8-2), T (7-3) et T (6-4) (annexes 3,4,5) les valeurs de r sont respectivement égales à 0.80, 0.95, 0.93. Il s'agit, donc de fortes corrélations positives dans ces substrats par rapport aux substrats T (9-1) (annexe 2) et le TM (annexe 6) avec $r=0.24$ et $r=0.32$ respectivement. Cela explique qu'un pourcentage élevé de FP dans le substrat T(9-1) et une non utilisation de FP dans le TM a provoqué une relative croissance moyenne dans les substrats sus cités.

2.1.5. Volume des racines (VR)

L'incorporation de 80 et 70% de fibres dans les substrats T (8-2) et T (7-3) (Fig. 26) a donné le VR le plus élevé. La valeur la plus basse a été obtenue par la tourbe. **Nemali et van Iersel (2004)** ont montré que l'humidité et la stratification du sel réduisent la colonisation des racines. D'autre part, les contenus macro et micro-éléments sont des constituants importants dans le mélange du terreau (**Albuquerque et al., 2004, Raviv et al., 2007**). Par conséquent,

et vu que les conditions nutritionnelles et climatiques étaient identiques pour tous les plants, nous considérons que seul l'apport de fibres dans T (8-2) et T (7-3) a eu l'effet escompté sur les VR des plants en pépinière.

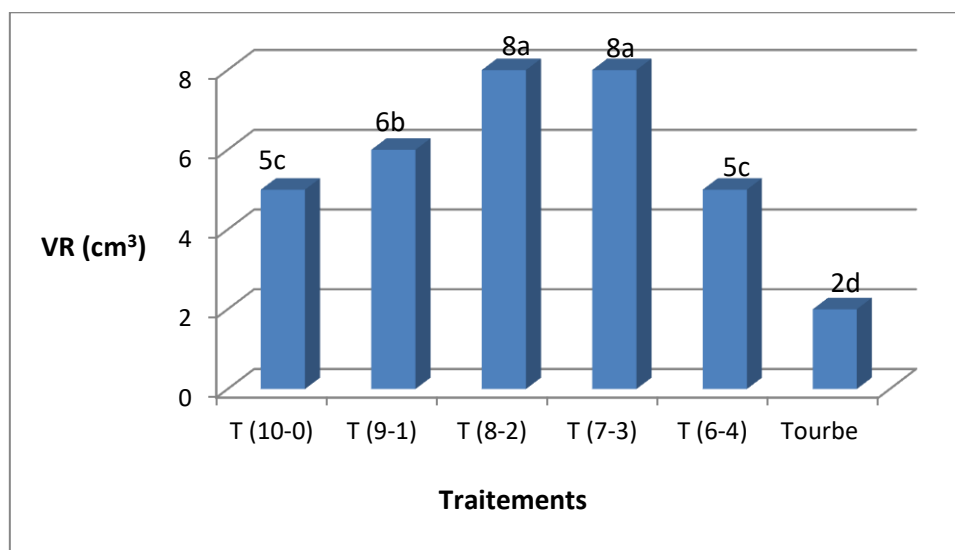


Figure 26: l'effet des différents substrats sur le VR (cm³)

2.1.6. La distribution des racines (DR)

Les résultats ont montré que les DR dans le substrat est T (8-2), T (7-3) et T (6-4) sont relativement homogène dans entre la partie supérieure et inférieure des racines des substrats par rapport aux autres traitements (Figure27).

Dans le substrat de tourbe, 90% des racines sont situés dans la partie supérieure. Selon **Santamaria et al., (2003); Nemali et van Iersel, (2004), Zheng et al., (2004), Matysiak et Bielenin, (2005); Rouphael et al., (2005)**, l'occupation racinaire dans la partie supérieure du substrat est due à une présence de nutriment dans la partie superficielle (**Christine et al. 2017**). Pour ce cas nous considérons que la présence de fumier dans la tourbe a influencé l'occupation des racines la partie supérieure du substrat.

Bien que l'occupation de la partie inférieure soit due à un manque d'eau (**Nemali et van Iersel, 2004**). De même, **Rouphael et Colla (2005), Fitter et al. (2002) et Bouma et al. (2001)** ont estimé que l'accumulation de sel à la surface du substrat est un inconvénient majeur de cette technique d'irrigation goutte à goutte. Alors que, dans cette expérience, l'introduction des fibres de palmier dans les substrats a déterminé de manière significative la répartition spatiale indépendante de la nutrition et du système d'irrigation. Parce que, il a été utilisé la même fertigation pour tous les traitements.

En général, la biomasse des racines est fortement concentrée dans la surface (Christine et al; 2017). L'arrangement spatial du système racine de la plante est très sensible à l'état nutritionnel du sol et de la plante (Zaigham and Amtmann, 2017).

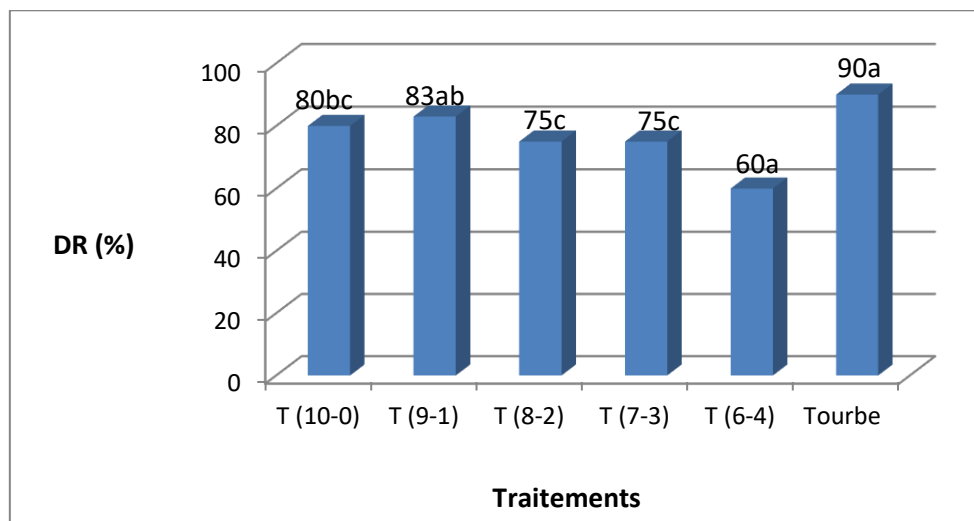


Figure 27 : l'effet des différents substrats sur la DR (%)

2.1.7. Le nombre des racines (NR)

Le NR (Figure. 28) a souvent été utilisé pour caractériser le développement des racines dans le sol (Vercambre et al., 2003, Dvoralai et Jens, 1999). Dans cette expérience, le nombre de racines n'a pas été influencé par les substrats utilisés.

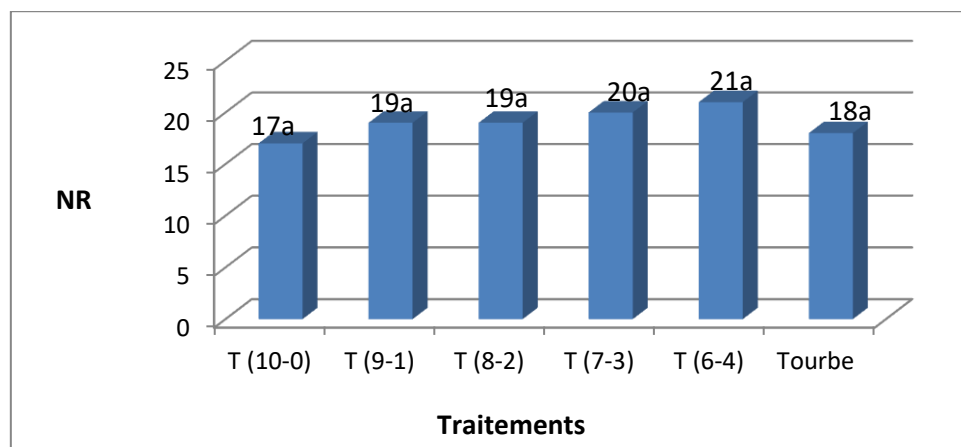


Figure 28 : L'effet des différents substrats sur le NR.

2.1.8. Longueur des racines (LR)

Les LR les plus élevées ont été obtenues en T (7-3) et les plus courtes dans la tourbe (Figure 29). Par conséquent, les écarts apparents entre les distributions moyennes de la longueur de la racine résultent de la variation dans les substrats. De même, selon (Krasilnikoff et al, 2003), la longueur des racines peut jouer un rôle actif dans l'absorption

des ions et de l'eau. Elle sert à caractériser le développement des racines dans le sol (Pierret et al, 2000). Par conséquent, le substrat T (7-3) présentait ces caractéristiques favorables par rapport aux autres traitements.

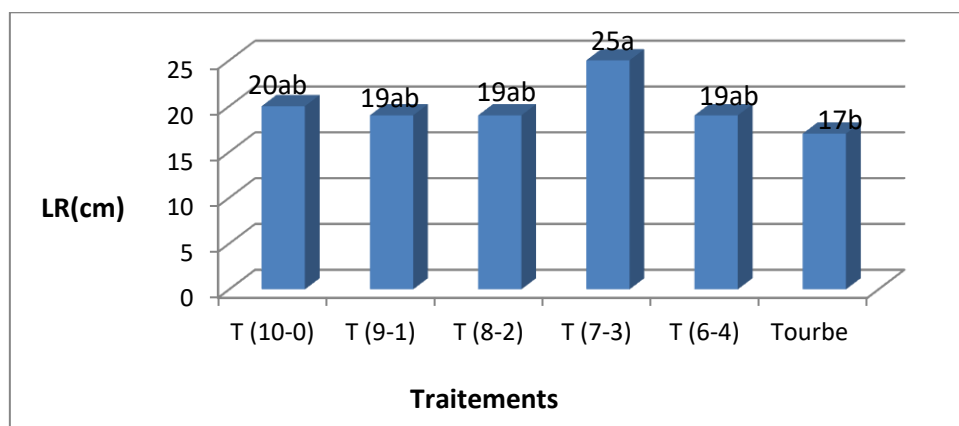


Figure 29 : l'effet des différents substrats sur la LR (cm).

3. Effet des différents substrats sur la croissance et la production du concombre

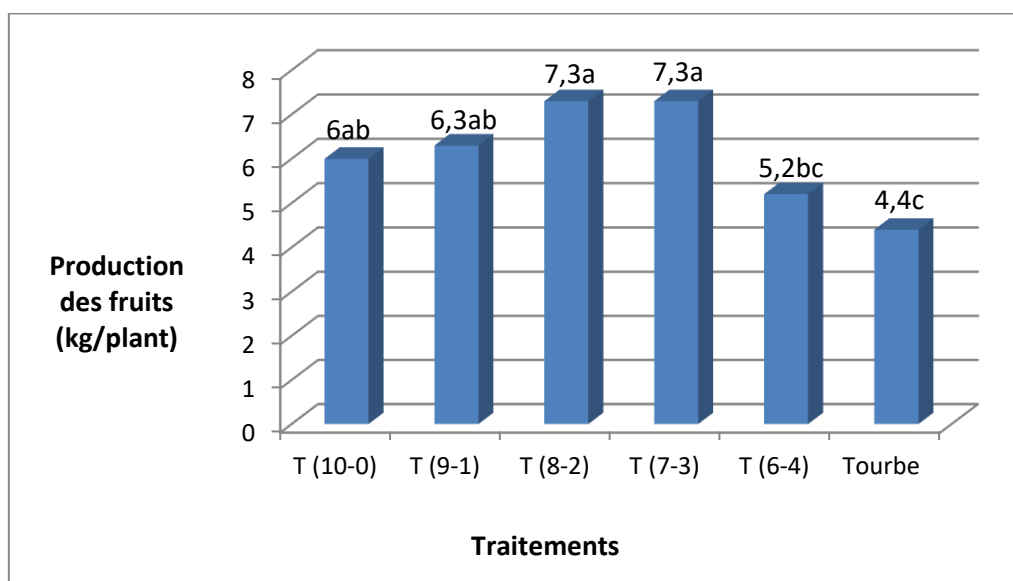


Figure 30 : Production des fruits (kg/plant)

A la fin de la saison de croissance et après la récolte des fruits, les résultats (figure 30) ont montré que l'effet des différents substrats sur le développement des racines est très significatif. Pour tous les paramètres étudiés T (8-2) et T (7-3) ont donné, relativement, les meilleures conditions pour un développement optimal des racines. Les volumes des racines ainsi que leur matière sèche étaient les traitements T (8-2) et T (7-3); d'où l'effet de la constitution des ces substrats par les fibres. Une augmentation de production de fruits de 40% (fig. 30) a été obtenue par ces deux substrats par rapport aux autres substrats élaborés.

Les résultats obtenus étaient conformes à ceux obtenus par **Dexter (2004) et Wang et al, (2006)**. Ils ont montré que la texture et la structure du sol ont des effets majeurs sur la croissance de la racine et sur leur répartition.

Benjamin et Nielsen (2006), Songsri et al, (2008) et Engel et Kirkby, (2001) ont montré que, dans des conditions défavorables de teneur en eau du sol, les plantes améliorent leur capacité d'absorption d'eau en prolongeant le système d'enracinement et en augmentant la densité de la longueur de la racine.

Par comparaison, dans notre expérience, ces paramètres étaient exclusivement la conséquence de l'introduction des fibres dans les substrats. Des recherches récentes sur les remplacements de tourbe sur la croissance de *Lycopersicum esculentum* en serre ont porté sur l'utilisation de divers composés (**Garcia-Gomez et al; 2002, Farrell et Jones, 2010**).

Partie 2 : L'incorporation des fibres de palmier dattier (*Phoenix dactilifera*) dans la production du substrat horticole destiné à la culture du Caroubier cultivé en hors sol.

Les propriétés physiques telles que la capacité de retenir l'eau, le TD drainage et la PT (**Ferreras et al., 2000**) influencent de manière significative le pH et la CE du substrat (**Choi et al., 2010**)

1. La Porosité Totale (PT)

Les résultats (Figure 31) ont montré que le plus grand pourcentage de PT a été obtenu dans T (8-2) avec 62 %. La PT a diminué en fonction de la diminution du taux du FP dans les substrats T (7-3), T (6-4) et T (0-10) avec respectivement 54, 45 et 41 %.

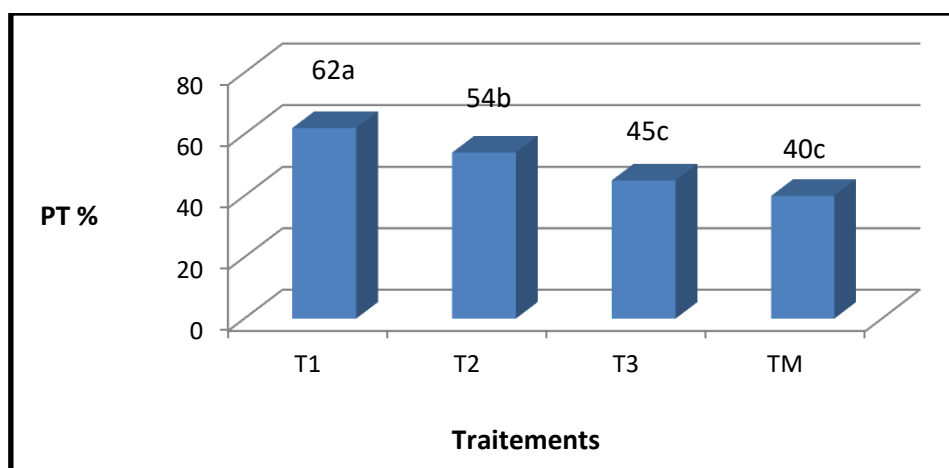


Figure 31 : Porosité totale (PT)

La porosité totale est essentielle. Car, c'est elle qui permet l'aération du sol et la perméabilité. Elle est d'autant plus élevée que la structure est meilleure. On admet que, pour un bon sol, elle est de l'ordre de 50 % à 70 %. Dès qu'elle tombe à 40 %, on peut estimer qu'on a affaire à un sol tassé (**Bonneau, 1963**), Et selon **Alburquerque et al; (2004)**, **Amir et al; (2004)** ; **Chong (2005)**, la PT doit être comprise entre 48.8 et 85%. Les traitements T (8-2) et T (7-3) ont donné des PT de 62 et 54% respectivement ; favorables à une croissance optimale des plants de caroubier. Car, lorsqu'elle est inférieure ou égale à 40%, elle entraîne la compaction du substrat (**Amir et al; 2005**). Dans notre cas, T (0-10) avec 40% de PT est défavorable à une bonne croissance racinaire. Toutefois, cette PT peut changer en fonction de la dégradation du substrat et la croissance des plantes (**Vaughn et al; 2011**).

2. Teneur d'humidité (TH)

Le TH le plus élevée de 32 % a également était obtenu par le T1 (8-2). Les T2 (7-3), T3 (6- 4) et TM (10-0) ont donné des TH de 30, 25 et 23% respectivement (Figure 32)

Lors du CC, la TH fournit un moyen de mobilité pour les nutriments nécessaires aux micro-organismes pour la décomposition est de 28 et 35 % (Lu et al; 2008). Alors qu'une teneur initiale entre 25 et 60% est adéquate pour une croissance optimale des plantes (Chimonidou et al., 2007 ;Ponsá et al., 2009). Ce pourcentage coïncident avec ceux de T1 (8-2), T2 (7-3) et T3 (6-4) dont les taux ont varié entre 25 et 32.30 %. Quant au TM (10-0), son TH était de 23 % ; valeur non appropriée à une croissance optimale des plantes.

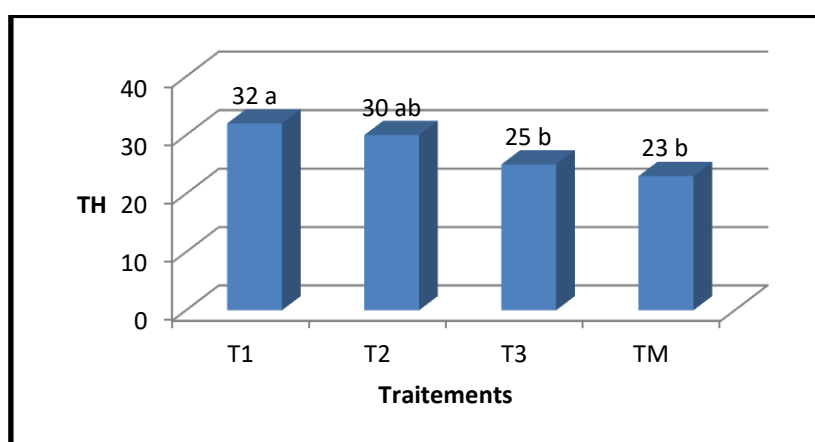


Figure 32 : Teneur d'humidité (TH)

3. Densité apparente (DA)

La figure 33 montre que l'effet des différents traitements sur les densités apparentes n'était pas significatif. Cependant, les valeurs obtenues pour les 4 traitements étaient de 1.19, 1.20, 1.20 et 1.25 g/cm³ pour respectivement T1 (8-2), T2 (7-3), T3(6- 4) et T4 (0-10)

La valeur appropriée de DA pour un développement optimal des plantes varie entre 0.75 et 1.20 g.cm⁻³ (Chimonidou-Pavlidou, 1999 ; Vaughn et al; 2011; Noguera et al ; 2003). Dans cette expérience, T1 (8-2), T2 (7- 3) et T3 (6- 4) ont donné des DA de 1.19, 1.20 et 1.20 g.cm⁻³ respectivement. Le TM (10-0) contenant moins de fibre a donné la DA la plus élevée avec 1.25 g cm⁻³ ; défavorable à la croissance des plantes.

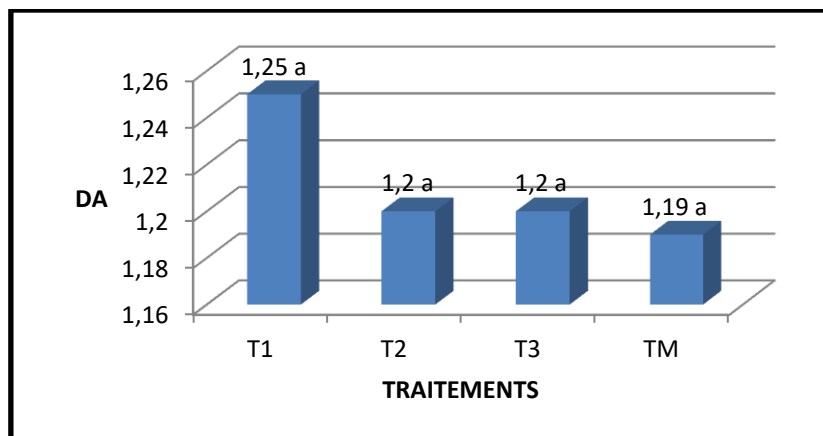


Figure 33: Densité apparente (DA)

4. Le taux de drainage (TD)

La figure 34 a montré que la DR a diminué en fonction de la diminution de la quantité des PF incorporé. T (8- 2), T (7-3), T (6- 4) et T (10-0) ont donné respectivement des DR égaux à 35, 29, 24 et 21 %.

Selon **Choi et Latigui, (2008)** ; **Adams, (2002)**, un DR variant entre 30-40% permet une utilisation rationnelle des eaux de la rhizosphère. Car, une grande disponibilité est nocive pour la croissance des plantes (**Munoz et al., 2008** ; **Roeber, 1999** ; **Morard, et al., 2000**). Dans notre expérience nous constatons que T(8-2) a donné un DR de 35 % nettement favorable par rapport à T(7- 3), T(6- 4) et T(10-0) dont les DR sont égales à 29, 24 et 21 % respectivement.

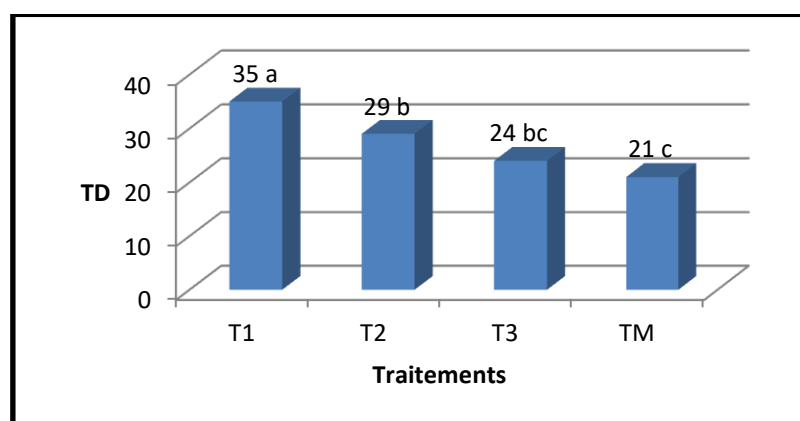


Figure 34 : Le taux de drainage (TD)

5. Le pH

Les pH (figure 35) varient entre 7.44 à 7.58 pour l'ensemble des traitements Selon **Banegas et al ; (2007)**, le pH des compostes entre 7,8 et 8,1 est approprié pour une

utilisation agricole. Toutefois, un pH entre 6 et 8 est favorable à la croissance de *C. siliqua* (Zouhair, 1996).

Le compost utilisé au cours de cette étude n'a pas eu d'effet négatif sur la stabilité du pH

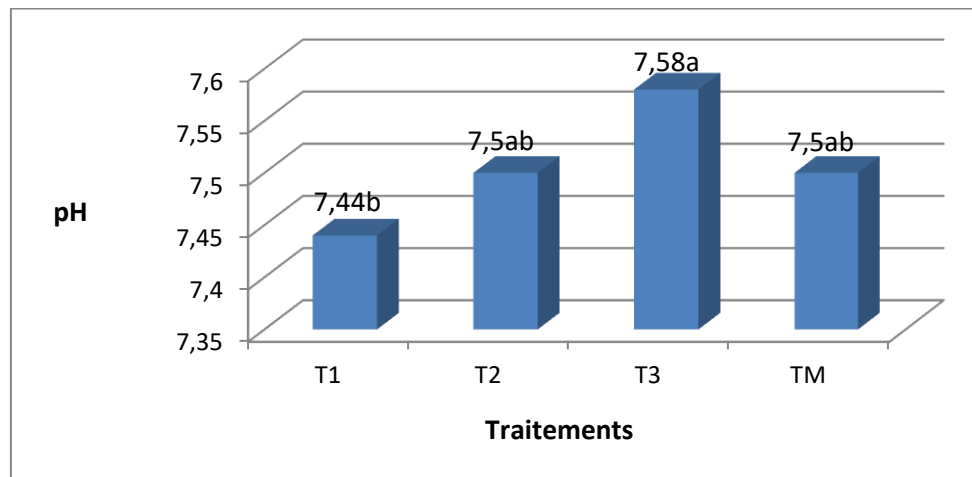


Figure 35 : Le pH

6. L'électroconductivité (EC)

Nous avons constaté (Figure 36) que l'EC de TM (10-0) 0.385 mS/cm étaient la plus élevée par rapport à T1 (8-2), T2 (7-3) et T3 (6-4) avec 0.353, 0.364 et 0.289 mS/cm respectivement.

L'EC du drainage est un indicateur déterminant de la salinité du SH. Selon **Tabatabei et al ; (2006)** un EC élevée provoque l'arrêt de croissance des plantes. Les résultats obtenus montrent que les EC de T1 (8-2), T2 (7-3), T3 (6-4) ont varié entre 0.289 et 0.353 mS/cm. Ces valeurs sont favorables pour la croissance des plantes (**De Pascale et al ; 2001**)

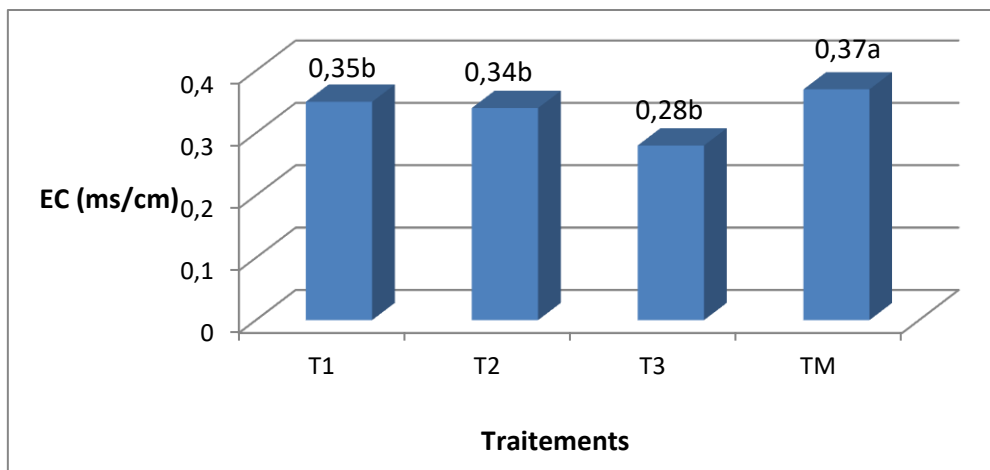


Figure 36:L'électroconductivité (EC)

I. Évolution du compostage

Dans le processus de compostage, en raison de la forte teneur en humidité et faible rapport C/N des solides solubles, les déchets doivent être mélangés avec des matériaux secs comme agents gonflants pour ajuster la teneur en eau et le C / N (Yañez et al., 2009). Dans notre expérience, la proportion du mélange initial de 50 % de SS et 50% de PF a donné une fermentation anaérobique suffisante (Antizar-Ladislao et al., 2006) ; induisant une minéralisation de la matière organique par des microorganismes (Laos et al., 2002; Grigatti et al., 2004). Car, selon Said-Pullicino et al., (2007) ; Rihani et al., (2010); un compost immature inhibe la germination des graines et réduit la croissance des plantes par compétition pour l'oxygène.

Dans notre expérience nous avons étudié l'évolution des principaux paramètres indicateurs de maturité du CC. Il s'agissait selon Iglesias-Jiménez, (2008) ; Barrera-Gómez et al ; (2006) du pH, de l'EC, l'O₂ dissout, et de la MS. Les observations suivantes ont été réalisées au cours de 6 mois :

1. Le pH

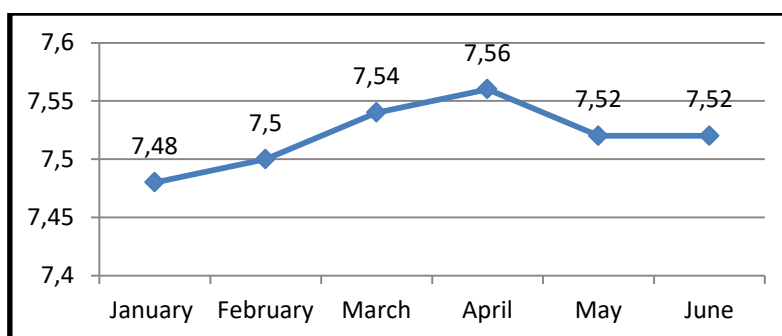


Figure 37 : pH

Généralement, le pH des boues résiduaires est approché à la neutralité (dans l'intervalle de $6 < \text{pH} < 8$), pour nos échantillons le pH varie entre 7,48 et 7,52, selon **Czekala et al; (2016)** et **Karak et al; (2014)**, un pH variant entre 5.5. à 8.5 est considéré comme approprié pour un compost stable, Le pH final légèrement alcalin fait du compost un produit sans risques pour le sol et pour les plantes (**Latigui, 1992**)

2. Conductivité électrique

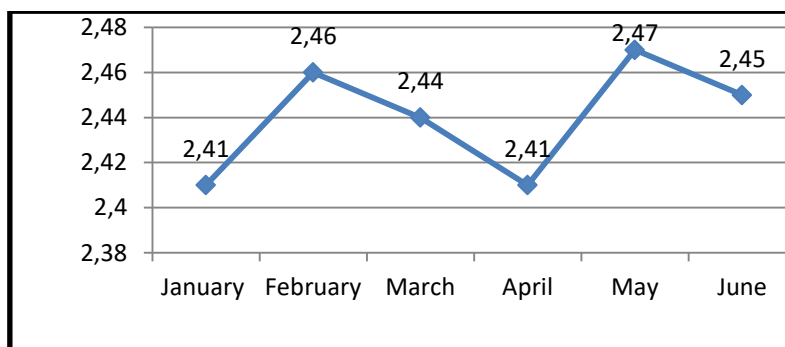


Figure 38: EC (ms/cm)

Le graphe montre les valeurs de la EC des différents compostes, avec une valeur maximale 2,47 ms/cm au mois de mars et une valeur minimale 2,41 ms/cm au mois de janvier et avril.

La conductivité électrique est principale indicatrice de la salinité, dans notre expérience, elle n'a pas dépassé 2.47 ms/cm pour l'ensemble des traitements. Car, une valeur supérieure à 4 ms/cm, peut induire une phytotoxicité et une inhibition de la germination (**Chitsan; 2008**).

3. Matière sèche

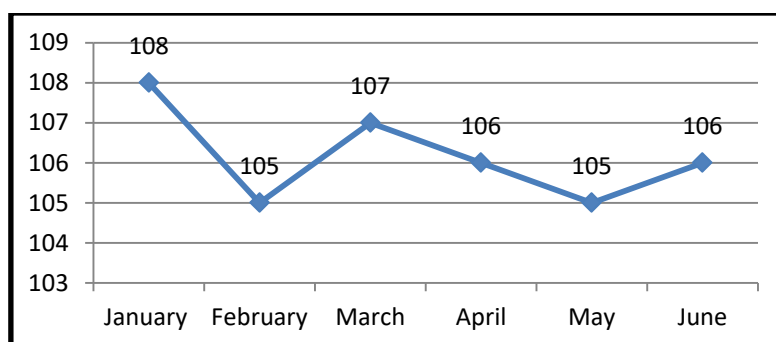


Figure 39 : Matière sèche (mg/l)

La figure 39 montre les valeurs de matière sèche des différents compostes avec une valeur maximale 108 mg/l au mois de janvier et une valeur minimale 105 mg/l au mois de février et mai.

4. O₂

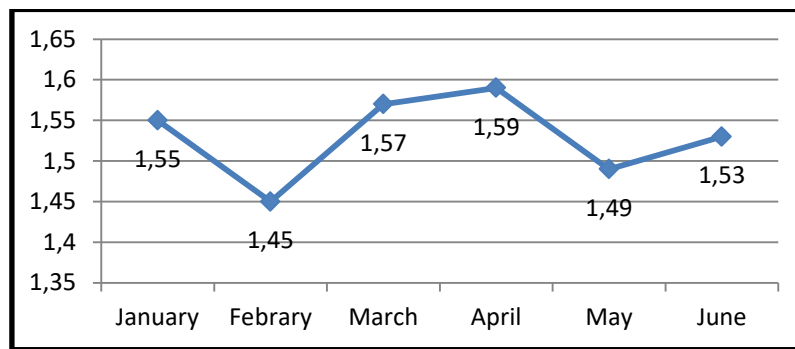


Figure 40: O₂ (mg/l)

La concentration d'O₂ liée directement à la décomposition oxygénée est impliquée dans les caractéristiques d'auto-échauffement du compost et d'autres émissions de gaz. Les valeurs inférieures à 1 mg O₂/g indique une stabilité du CC correspondent à des valeurs stables (Thompson et al ; 2001). Dans notre expérience, elle a varié entre 1.45 et 1.55

II. L'effet de compost sur la croissance de la plante

Nous constatons sur la figure 5 que la croissance des plants est proportionnelle à l'augmentation du CC dans les substrats. La croissance des plants est nettement importante dans T (8-2) par rapport aux autres traitements

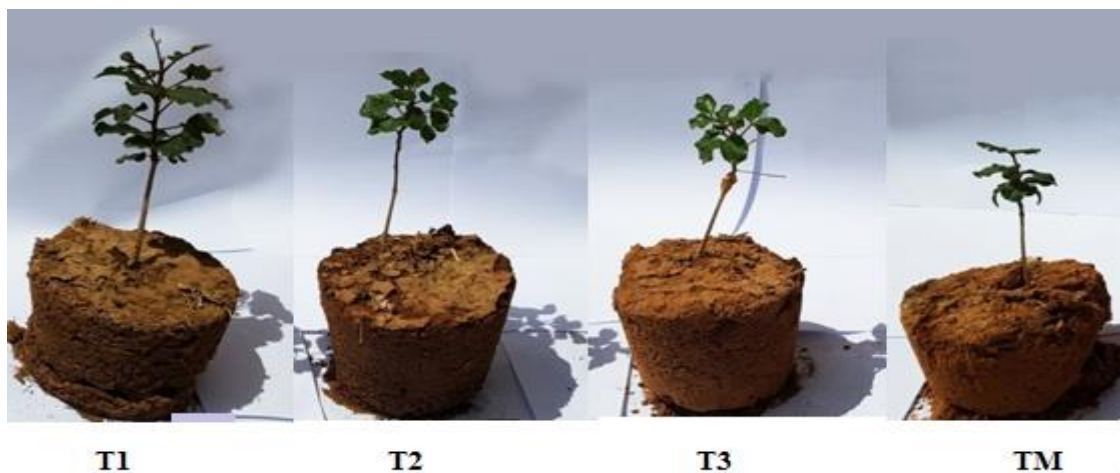


Figure 41: L'effet des différents substrats sur la croissance de C. sativus en pépinière 45 jours après le semis

1. Nombre des feuilles (NF)

Les résultats obtenus pour le nombre des feuilles par plante ont varié de 10 pour le T (7-3) et 9,4 pour le T (6- 4), Le nombre moyen des feuilles le plus élevé est de 20 et 14,6 pour

respectivement T (8-2) et T (10-0), le plus grand NF a été observé sur le T(8-2) par rapport aux autres traitements. L'analyse de variance a montré un effet non significatif

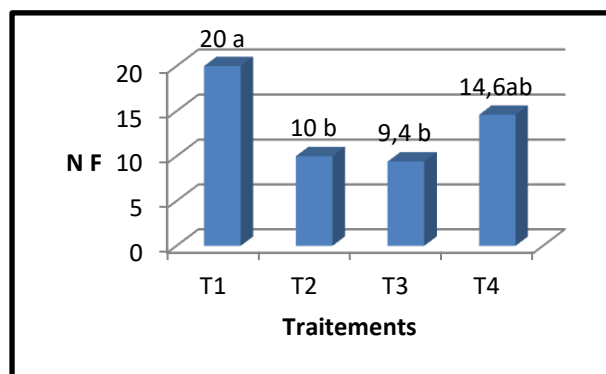


Figure 42: Nombre des feuilles

2. Nombre des racines (NR)

On peut constater d'après la figure que le nombre des racines la plus élevé est de T(8-2) et T(10-0) pour respectivement 32,4 et 26,8, et nombre le plus faible est obtenu pour T(7-3) et T(6-4) pour respectivement 22,8 et 17,08

Dans cette expérience, le NR n'est pas été influencé par les différents traitements (figure 7). L'analyse de variance a montré un effet non significatif. Toutefois, les valeurs de NR ont variées entre 17.08 et 32.4 pour l'ensemble des traitements.

Le NR est un paramètre important de caractérisation et de développement racinaire (Vercambre et al., 2003 ; Dvorlai et Jens, 1999)

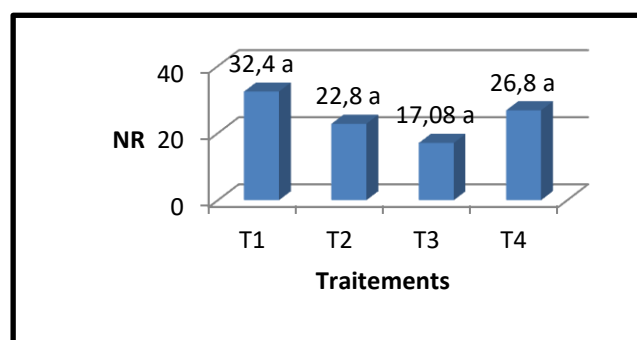


Figure 43: Nombre des racines

3. Longueurs des tiges (LT)

La figure 44, nous montre que la longueur moyenne des tiges la plus élevées est variée entre 11,8 et 23,34 pour respectivement T (7- 3) et T (8- 2), tandis que la longueur moyenne de T (6- 4) et T (0- 10) est de 8,9 et 9,94.

La LT n'a pas été impactée par les différents traitements. L'analyse de variance en a montré un effet non significatif.

Dans cette expérience, la plus grande LT a également été obtenue par le T (8- 2). Ces écarts entre les LT sont dus selon **Pierret et al ; (2000)** à la variation qualitative du substrat

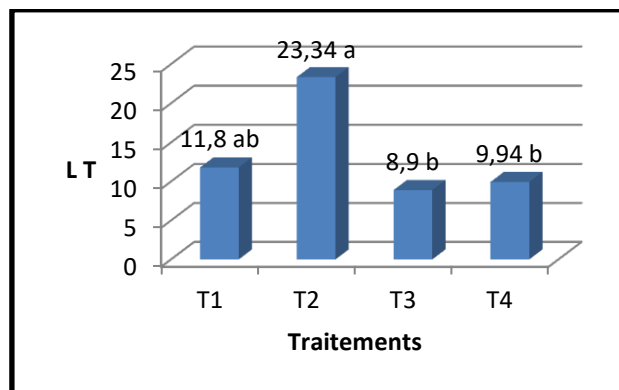


Figure 44: Longueurs des tiges

4. La distribution des racines

Le développement de l'appareil racinaire, joue un rôle primordial dans l'alimentation hydrique et minérale de la plante (**Boutchich et al, 2016**)

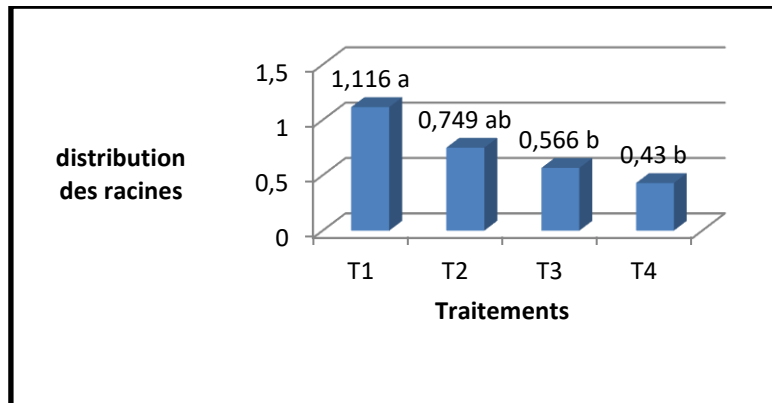
La distribution des racines a été impactée positivement par l'introduction des composts (figure 45). T1, T2 et T3 ont donné respectivement 1,11, 0,74 et 0,56% respectivement. Quant au T4, il a donné le plus faible pourcentage de 0,43%.

On constate aussi que la distribution des racines représentant le rapport du volume de la partie supérieure sur le volume de la partie inférieure est de 1,11, 0,74, 0,56 et 0,43 pour respectivement T1, T2, T3 et T4

L'analyse statistique de la variance révèle qu'il y a un effet « compost » significatif sur la distribution des racines pour les quatre traitements.

Nous avons constaté alors, que la densité racinaire superficielle est plus importante dans les SH contenant plus de CC. Selon **Matysiak et Bielenin, (2005)** ; **Rouphael et al., (2005)** ; **Santamaria et al., (2003)**; **Nemali et van Iersel, (2004)** ; **Zheng et al., (2004)**, l'occupation racinaire dans la partie supérieure du SH est due à un SH favorable à la croissance des plantes. Pour cette expérience, nous avons constaté que l'introduction du

CC dans les SH a déterminé de manière significative la répartition spatiale des racines. Indépendamment des autres facteurs.



.Figure 45: la distribution des racines

5. Longueur des racines

La figure 46 montre que les longueurs moyennes des racines sont variées entre 19,46 et 28,8, le LR n'est pas été influencé par les différents traitements (figure 46). L'analyse de variance a montré un effet non significatif.

La plus grande LR a également été obtenue par le T(8-2) et la plus courte dans T (10-0). Ces écarts entre les LR sont dus selon **Pierret et al; (2000)** à la variation qualitative des substrats

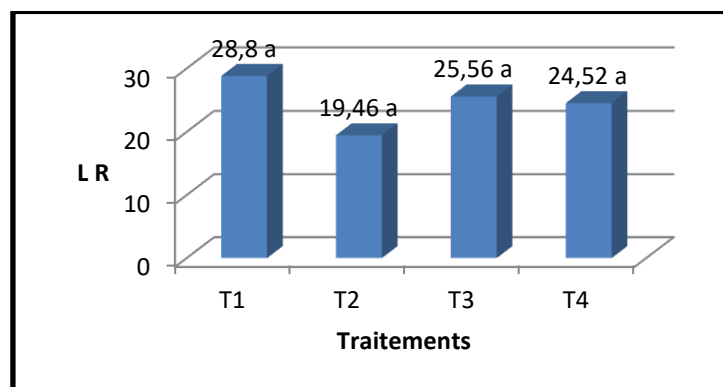


Figure 46:Longueur des racines

6. Matière fraîche

• Plante

La matière fraîche du plante la plus élevée est 4,466, elle a été obtenue par T1 (8-2) et la plus basse est 2,336, elle a été obtenu par TM (10-0). Pour les T2 (7-3) et T3 (6-4) la matière fraîche des plantes est de respectivement 3,142 et 2,394. L'analyse de variance a montré un effet significatif.

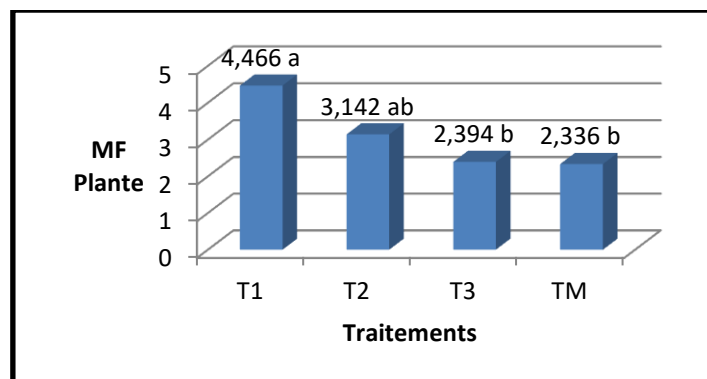


Figure 47: Matière fraîche du Plante

• Partie aérienne

On constate que les valeurs de MFA les plus élevées sont 3,06 et 1,75 pour respectivement T1 (8-2) et T2 (7-3), et les valeurs de T3 (6-4) et TM (10-0) sont respectivement 1,34 et 1,42. Un effet très significatif a été observé sur l'effet des différents substrats sur MFA.

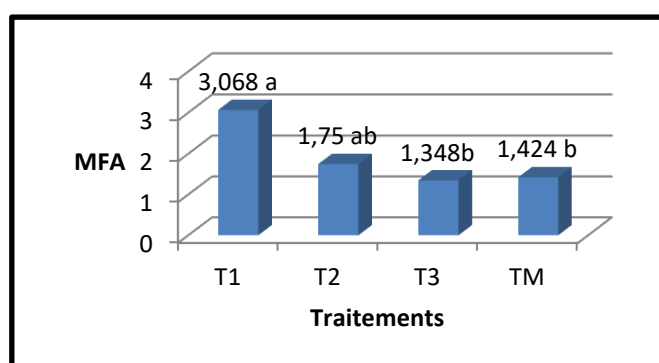


Figure 48: Matière fraîche Partie aérienne

• Racine

Les valeurs de T1 (8-2), T2 (7-3) et T3 (6-4) sont respectivement 2,546 ; 1,376 et 1,058 et pour la valeur de TM (10-0) est 0,854. L'analyse de variance montre un effet très significatif.

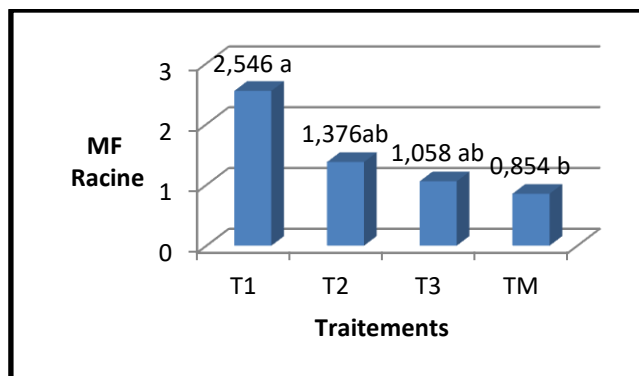


Figure 49: Matière fraîche Partie racinaire

7. Matière sèche

• Matière sèche aérienne

Les poids le plus élevés de la matière sèche des feuilles MSA a été obtenu par T1 avec 1.04% (figure 50).

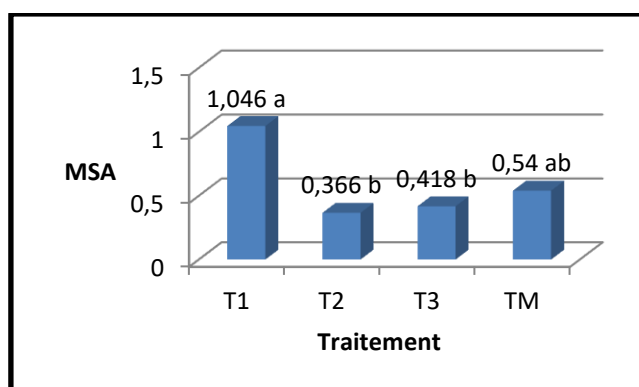


Figure 50: Matière sèche MSA

• Matière sèche racinaire

L'analyse de la variance n'a montré aucun effet significatif, T1 composé du taux le plus élevé du CC a donné le la plus grande MSR 0,39 % par rapport aux traitements T2, T3 et TM. Ils ont donné des taux respectifs de 0.29 ; 0.24, 0.21 %. Un stress hydrique pourrait augmenter la MSR (Rubio et al., 2009 ; Grigatti et al., 2007). Car, l'arrangement spatial du système racinaire dépend des conditions nutritionnelles de la rhizosphère (Fan et al. 2003). Dans notre cas, les 4 traitements ont reçu les mêmes doses d'irrigation. A cet, effet, les différents traitements n'ont eu aucun effet sur la MSR.

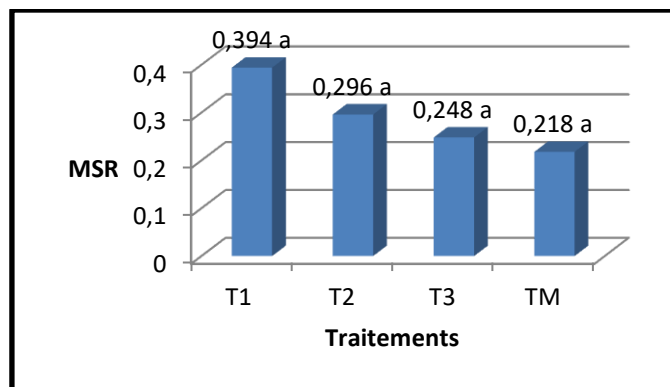


Figure 51: Matière sèche MSR

8. Volume des racines

L'incorporation des FP dans les SH a donné les plus grands VR. La figure 52 nous montre que le VR le plus élevé a été obtenu dans T1 avec 2.26 cm^3 , il a été suivi par T2, T3 et avec 1.82 et 1.84 cm^3 . Quant au TM il a donné la plus basse VR

La figure 7 a montré que plus le taux de FP est élevé plus le VR est important avec 2.26 , 1.82 , 1.44 , 1.10 cm^3 pour respectivement T1 (8- 2), T2 (7- 3), T (6- 4) et T (10- 0). Ces résultats coïncident avec ceux de **Nemali et van Iersel (2004)** ; **Albuquerque et al., (2004)** ; **Raviv et al., (2007)**. Ces auteurs ont confirmé que le VR le plus important se trouve dans le substrat le plus riche en élément nutritifs.

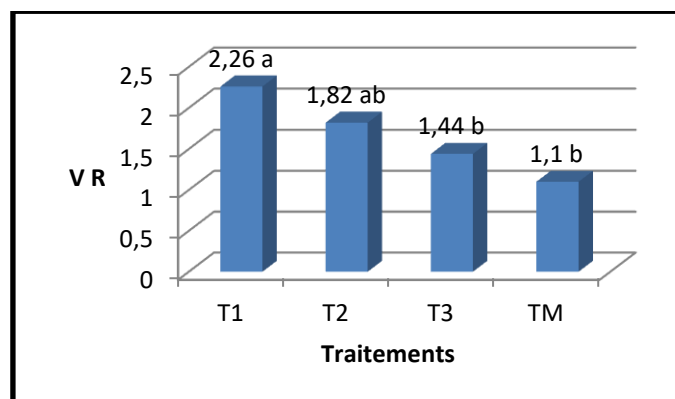


Figure 52: Volume des racines

- **Volume partie supérieur des racines**

La figure montre que le volume le plus élevé obtenu par T3 suivi par et le TM ; T1 ; T2 pour respectivement $0,8$; $0,75$; $1,44$ et $1,22$. Pour le VSR l'analyse de la variance n'a montré aucun effet significatif

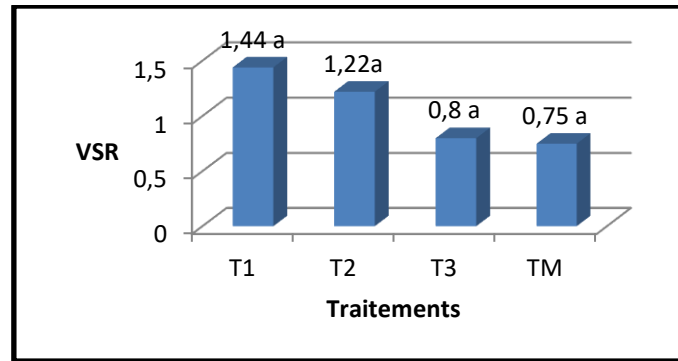


Figure 53: *Volume partie supérieur des racines*

- *Volumes partie inférieur des racines*

Le volume est presque le même dans les quatre traitements. L'analyse de la variance n'a montré aucun effet significatif.

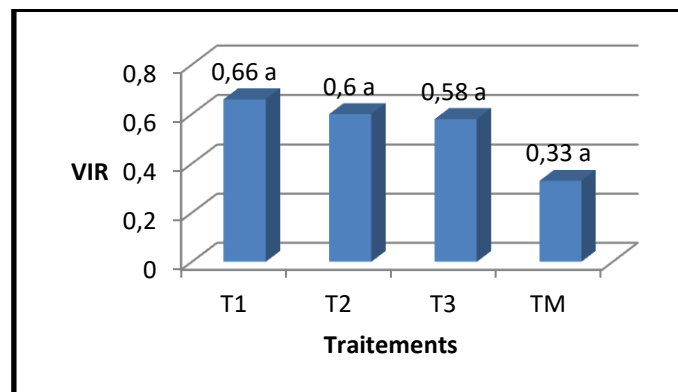


Figure 54: *Volumes part inférieur des racines*

Conclusion générale

Après le traitement des eaux usées, les boues produites en quantités importantes peuvent être utilisées comme substrat organique pour enrichir le sol. Le compostage est un procédé de valorisation de ces déchets puisqu'il permet d'obtenir un produit stable, hygiénisé et pouvant être utilisé comme amendement agricole

Un substrat horticole en combinaison avec une solution nutritive appropriée est déterminant pour la croissance et la nutrition des plantes (**Palermo et al; 2012, Damm et al; 2011**). Car, une inadéquation entre les propriétés physico chimiques d'un substrat et la solution nutritive provoque un déséquilibre au niveau racinaire ; induisant à la salinité du substrat (**Morgan, 2004; Burrage, 2014**).

A travers cette étude, les résultats d'analyse des échantillons retenus montrent que la boue issue de la station d'épuration des eaux usée d'EL ETTEUF présente des qualités et des caractéristiques permettant de la valoriser en agriculture. A cet effet, et dans ce travail nous avons substitué le terreau importé par des fibres du palmier dattier mélangées à un Co compostage de boue résiduaire et de terre végétale dans la constitution d'un substrat horticole destiné à l'élevage des plants de caroubier (*Ceratonia siliqua*), La composition des substrats a été précédée par un Co compostage de la boue résiduaire avec la terre végétale. Cette opération a duré 6 mois.

Dans ce processus de compostage, en raison de la forte teneur en humidité et faible rapport C/N des solides solubles, la boue a été mélangée avec de la terre végétale afin d'ajuster la teneur en eau et le C / N. A cet effet, la proportion du mélange initial de 50 % de terre végétale et 50% de fibres a été utilisée. Cette opération a donné une fermentation anaérobique suffisante; induisant une minéralisation de la matière organique par des microorganismes. Car, un compost immature inhibe la germination des graines et réduit la croissance des plantes par compétition pour l'oxygène. Durant ce Co compostage le pH a évolué entre 7.48 et 7.52. L'intervalle du pH entre 6 et 8 est considéré comme approprié pour un compost stable. Car, le pH final légèrement alcalin fait du compost un produit sans risques pour le sol et pour les plantes. La valeur de l'électro conductivité a varié entre 2.41 et 2,47 Sm/cm. Il est à noter qu'une valeur supérieure à 4 Sm/cm, peut induire une phytotoxicité et une inhibition de la germination. La matière sèche compost avec une valeur maximale 108 mg/l au mois de janvier et une valeur minimales 105 mg/l au mois de février et mai est un signe indicateur d'une bonne maturation du compost.

Conclusion générale

La concentration d'O₂ liée directement à la décomposition oxygénée est impliquée dans les caractéristiques d'auto-échauffement du compost et d'autres émissions de gaz. Les valeurs inférieures à 1 mg O₂/ g indique une stabilité du CC. Elles correspondent à des valeurs stables.

Un travail préliminaire a été réalisé sur une plante annuelle concombre (*C. sativus*). Celui-ci nous a permis d'avoir des résultats préliminaires consistant à orienter le travail sur *C. siliqua*. A cet effet, six substrats composés de fibres de palmier (FP) et de terre végétales ont été testés sur cette plante. Il s'agit des compositions suivantes [%FP-%TV]: T[100-0] ; T [90-10] ; T [80-20] ; T [70-30] ; T [60-40] et le substrat tourbe importée (TM). Nous avons obtenu les meilleurs résultats avec les substrats T [90-10], T [80-20] et T [70-30]. Ils ont donné les meilleures performances quant à la croissance des plants et la production des fruits du concombre par rapport au TM. Ces trois substrats ont été testés sur l'élevage des plants de caroubier cultivés en pépinière et destinés à la production de plants *C. siliqua* en cultures hors sol.

Le pilotage de la fertirrigation a concerné le suivi de l'évolution du couple EC-pH durant tout le cycle végétatif. Car, ce couple au-delà ou au deçà des normes, provoque, une phytotoxicité et des carences minérales nocives pour la croissance des plantes (**Bilderback et al. 2005 ; Diem et Godbold, 1993**). A cet effet, le choix d'un SH et d'une solution nutritive uniforme indispensables pour une croissance optimale des plantes dans un substrat approprié (**Kopittke et Menzies, 2007 ; Morel, 2000**) était le principal objectif de cette thèse consiste à déterminer la meilleure combinaison : **Solution nutritive /substrat /espèce végétale.**

Dans la deuxième partie du travail, les plants de *C. Siliqua* ont été semés dans 3 substrats confectionnés à partir du travail préliminaire sur concombre. Quant à la croissance des plantes aux paramètres de croissance, les substrats [FP%-CC%] (80-20), (70-30) et (60-40) ont donné les plus grands nombres et le plus grand volumes des racines, les plus longues tiges, la meilleure architecture racinaire, les plus longues racines ainsi que les poids les plus élevés de la matière racinaire aérienne et racinaire.

Nous avons constaté dans ce travail que l'introduction du co-compostage de la boue résiduaire avec de la terre végétale notamment la combinaison 80% de Co compostage et 20% de fibre de palmier ont donné un substrat horticole plus performant que le substrat importé sous forme de tourbe.

Références bibliographiques

- Abad, M., P. Noguera and S. Bures, 2001. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresour. Technol.*, 77: 197-200.
- Abaker, M.G(2016). Suivi de maturation de composts mixtes par spectrométrie d'absorption et de fluorescence UV-Vis. Thèse de doctorat, Aix-Marseille université, Toulon
- Achouri F., Mémoire d'Etude des performances épuratoires de la station d'épuration par lagunage naturel de l'oued Béni-Messous W. d'Alger en vue de L'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, Alger (2003).
- Adams P (2002). Nutritional Control in Hydroponics. In D. Savvas & H.C. Passam, eds. *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, p. 211–261. Embryo Publications, Athens, Greece.
- ADEME ; 1996. La valeur azotée des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines. 336p
- ADEME, 1995. Les micropolluants métalliques dans les boues résiduelles des stations d'épuration urbaines. Paris: ADEME Editions, 209 p
- ADEME, 2001. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture – dossier documentaire, Angers, France.
- Agences de bassins (1979), Lagunage naturel et lagunage aéré : procédés d'épuration des petites collectivités, CTGREF d'Aix en Provence
- Akram Kiani Abari, M. H. N; Mohammad Hojjati And Dariush Bayat (2011). « Salt Effects On Seed Germination And Seedling Emergence Of Two Acacia Species ». *African Journal Of Plant Science*. 5(1): 52-56
- Albrecht, R., 2007. Co-compostage des boues de station d'épuration et de déchets verts: nouvelle méthodologie de suivi des transformations de la matière organique. Thèse doctorat. Université Paul Cezanne Aix-Marseille III. Marseille
- Albuquerque JA, J. Gonzalvez D, Garcia, Cegarra J (2004). Agrochemical characterisation of alperujo, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresour. Technol.*, 91: 195-200.
- Alexandre O., Boutin C., Duchène P., Lagrange C., Lakel A., Liénard A., Orditz D., Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités (1997)
- Allinger et al, (1979). *Chimie organique : T1, T2, T3*, Edition McGraw Hill

Références bibliographiques

- Amir S, Hafidi M, Merlina G, Revel JC (2005) Structural characterization of fulvic acids during composting of sewage sludge. *Process Biochemistry*, 40: 1693-1700.
- Amir S., Abouelwafa R., Medich A., Souabi S., Winterton P., Merlina G., Revel JC., Pinelli E., Hafidi M., 2010: Pflas of the microbial communities in composting mixtures of agroindustry sludge with different proportions of household waste. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 64, 614–621.
- Amir S., Hafidi M., 2001 : Valorisation de boues de stations d'épuration des eaux usées par un bioprocédé aérobie "compostage". *Annale de Chimie-Sciences des Matériaux*, 26, 409– 414.
- Amir, 2005. Contribution à la valorisation des boues de la station d'épuration par compostage: devenir des micropolluants métalliques et organiques et billon humique du compost. Thèse, doctorat, Maroc
- Ammond, S. A; Litton, C. M; Ellsworth, L. M. And Leary, J. K. (2012). «Restoration Of Native Plant Communities In A Hawaiian Dry Lowland Ecosystem Dominated By The Invasive Grass *Megathyrus Maximus*. « *Applied Vegetation Science*: N/A-N/A.
- Andrews M, JA Raven, Sprent JI (2001). Environmental effects on dry matter partitioning between shoot and root of crop plants: Relations with growth and shoot protein concentration. *Ann. Applied Biol.*, 138: 57-68.
- Asdrubal Madeleine. (2006). Fertilisation et amendements : Dossier d'autoformation. Editions Educagri, 2eme Edition. France. 131p.
- Babiker IS, Mohamed MAA, Terao H, Kato K, Ohta K (2004) Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. *Environment International*, 29: 1009-1017
- Baize, D. (2000) Teneurs Totales en "Métaux Lourds" dans les sols Français. Résultats Généraux du Programme ASPITET. No. 39, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 39-54.
- Ballabio C, Panagos P, Monatanarella, L (2016). Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database. *Geoderma* 261, 110–123.
- Banegas V, Moreno JL, Teresa H (2007) Composting Anaerobic and Aerobic Sewage Sludges Using Two Proportions of Sawdust. *Waste Management* 27(10):1317-27.
- Barrena-Gómez R., Lima FV, Ferrer AS (2006) The use of respiration indices in the composting process: a review. *Waste Management Research* 24 (1), 37–47.
- Baum N.(1989). «Arbres et arbustes de l'Egypte ancienne», pp. 354

Références bibliographiques

- Benito M, Masaguer A, De Antonio R, Moliner A (2005) Use of pruning waste compost as a component in soilless growing media. *Bioresources Technology*, 96: 597-603.
- Benjamin J, Nielsen D (2006). Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. *J. Field Crops Res.*, 97: 248-253.
- BERGER M., 1996. L'utilisation de la fumure organique en Afrique soudano-sahélienne. *Agriculture et développement*, numéro hors série, 1996.
- Berland, J. (2014). Traitement des eaux résiduaires des agglomérations: Filières extensives. *Techniques de L'ingénieur*, C 5 222, 1-44
- Berland, J. M; Boutin, C; Molle, P; Cooper, P. (2001). Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités (500-5000 éq-hab). La directive de conseil relative au traitement des eaux urbaines résiduaires n°91/271.France.
- Bilderback TE, Warren SL, Owen JS, Albano JP (2005). Healthy substrates need physicals. *HortTechnology* 2005;15: 747-751.
- BLONDEAU, 1985. Le traitement centralisé des boues. Ed T.S.M. L'eau, n°6, Paris, p231-242
- BONDO, D. et PIETRASANTA, Y.1994. Le lagunage écologique. Ed.Economica
- Bouma TJ, KL Nielsen J, Van Hal, B Koutstaal B (2001). Root system topology and diameter distribution of species from habitats differing in inundation frequency. *Funct. Ecol.*, 15: 360-369.
- Boutayeb, M et Bouzidia, A (2012). Epuration des eaux usées domestiques par lagunage naturel dans cinq stations d'épuration de la région de la Chaouia Ouardigha-Maroc. *Nature & Technologie*, n° 08/Janvier 2013. Pages 49 à 53
- BOUTIN P; (1982). Risques sanitaires provenant de l'utilisation d'eau polluée ou boues de stations d'épuration en agriculture. *T.S.M*, n° 12
- Bouziani, M. (2000). L'eau de la pénurie aux maladies (Ibn-Khaldoun, Vol. 1). Tlemcen: Ed. IbnKhaldoun, Impr. 2000.
- Burrage SW (2014). Soilless Culture and Water Use Efficiency for Greenhouses in Arid, Hot Climates.
- Caballero R, Pajuelo P, Ordovas J, Carmona E, Delgado A (2009) Evaluation and correction of nutrient availability to *Gerbera jamesonii* H. Bolus in various compost-based growing media. *Sciences Horticulture*, 122: 244-250.

Références bibliographiques

- Cadena, E ; J. Colón, A. Artola, A. Sánchez and X. Font (2009). Environmental impact of two aerobic composting technologies using life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 14(5): 401-410
- Canadell J, R. Jackson JR, Ehleringer HA, Mooney OE, Sala Schulze ED (1996). Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia*, 108: 583-595.
- Catroux, G., Hermite, P., Suess, E., 1983. The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soil. In: *Proceeding of a Seminar held in Munich 1981*. D. Reidel Publishing Company, Amsterdam, The Netherlands, p. 25
- CCME (Canadian Council of the Ministers of the Environment), 1996. Guidelines for compost quality. CCME 106E, CCME Documents, Winnipeg, 11 pp
- Chafi , M ;2011.Vicia faba L ; un engrais pour réhabilitation des zones marginalisées (zones arides et semi-arides) algériennes. Thèse de doctorat en biologie. 38p
- Chaib,A . (2004). Bioépuration par lagunage naturel. *Bulletin des énergies renouvelables*, N° 5
- Charnay, F (2005). Compostage des déchets urbains dans les pays en développement : élaboration d'une démarche méthodologique pour une production pérenne de compost. Thèse de doctorat. Université de Limoges, Limoge
- Chimonidou DA, Bolla L, Vasiliou S, Christoforou P, Kerkides M, Psychoyiou, Karabourniotis G (2007). Rose cultivation in substrates and two irrigation regimes. *Proceedings of the 22nd Hellenic of Science Society on Horticulture*, October 18-22, 2005, Patra, Greece, pp: 153-156.
- Chimonidou-Pavlidou D (1999). Irrigation and sensitive stages of rose development. *ISHS Acta Hortic.*, 481: 393-402.
- Chitsan L (2008) A negative-pressure aeration system for composting food wastes. *Bioresources Technology* 99 (16), 7651–7656.
- Choi JM, Latigui A (2008). Effect of various concentrations on the quantity of chlorophyll of 4 varieties of strawberry plants (*Fragaria ananassas*) cultivated in inert media *Journal of Agronomy* 7(3): 244-250. DOI: 10.3923/ja.2008.244.25.
- Choi JM, A. Latigui, Kyung YM (2011). Growth and nutrient uptake of seolhyang strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) responded to elevated nitrogen concentrations in nutrient solution. *Korean J. Hort. Sci. Technol.*, 285: 777-782.

Références bibliographiques

- Choi JM, Latigui A, Kyung YM (2010) Growth and nutrient uptake of seolhyang strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch) responded to elevated nitrogen concentrations in nutrient solution. *Korean Journal of Horticultural Sciences Technology*, 285: 777-782.
- Chong C (2005). Experiences with wastes and composts in nursery substrates. *HortTechnology*, 15: 739-747.
- Chouinard O; Courchesne D; Martin G (2010) ; L'utilisation de compost comme pratique visant une plus grande viabilité des sols chez les fermiers du SudEst du Nouveau-Brunswick fermiers du Sud-Est du Nouveau-Brunswick , 2010 . *Community Mobilization and the Social Economy /Mobilisation communautaire et économie sociale*
- Christine D, Sprunger AC, Lawrence G, Oates BD, Randall D, Jackson BD, Philip Robertson AE (2017) . Plant community composition influences fine root production and biomass allocation in perennial bioenergy cropping systems of the upper Midwest, USA *Biomass and Bioenergy* 105 (2017) 248-258.
- Colin a ; 1997 ; Étude du procédé d'épandage centrifuge d'engrais minéraux. Thèse de doctorat en Génie des procédés industriels 62p.
- Colombani N, Mastrocicco M, Di Giuseppe D, Faccini B, Coltorti M (2014) Variation of the hydraulic properties and solute transport mechanisms in a silty-clay soil amended with natural zeolites. *Catena* 2014 (123), 195–204.
- CPVQ ; 1993. Rotation des cultures et engrais verts. Feuille technique. Numéro de commande 02-9304
- Czekala W, Dach J, Janczak D, Smurzyn' SKA, Kwiatkowska A, Kozłowski K (2016) Influence of maize straw content with sewage sludge on composting process. *Journal of Water Land Development* 30, 43–49.
- Daloz A, 2007, L'épuration des eaux usées par les filtres plantés de macrophytes, Mémoire, Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Lyon, France, pp 26.
- Damm S, Hofmann B, Gransee A, Christen O (2011) Zur Wirkung von Kalium auf ausgewählte bodenphysikalische Eigenschaften und den Wurzeltiefgang landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. *Arch Agron Soil Sci.* doi:10.1080/03650340.2011.596827.
- De Pascale S, Maggio A, Fogliano V, Abrosino P, Ritieni A (2001) Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *Journal of Horticultural Sciences Biotechnology*, 76: 447-453.

Références bibliographiques

- DEGREMONT. (2005), Mémento technique de l'eau, 10ème édition, Ed. Lavoisier, Paris
- DEGREMONT. (2005). Mémento technique de l'eau, Tome 1. France. pp785
- Dexter AR (2004). Soil physical quality: Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter and effects on root growth. *Geoderma*, 120: 201-214.
- Diacono M, Montemurro F (2010) Long-term effects of organic amendments on soil fertility: A review of *Agronomy Sustainable Development*. 30, 401–422
- DIARRA B; GIAN N; KONATE F.O. (2019). Analyse de la gestion de la fertilité organo- minérale des sols dans les cercles de Koulikoro et de Sikasso (Mali). *Revue de Géographie Tropicale et d'Environnement*, n°1. 35-44
- Diem B, Godbold D (1993). Potassium, calcium and magnesium antagonism in clones of *Populus trichocarpa*. ***Plant Nutrition from Genetic Engineering to Field Practice pp 613-616.***
- Domeno, I., N. Irigoyen and J. Muro, 2009. Evolution of organic matter and drainages in wood fibre and coconut fibre substrates. *Sci. Hortic.*, 122: 269-274.
- Duchêne P; (1990). « Les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités. Documentation technique du FNDAE. n°09, p 8-9
- Dudkowski, A (2009). The land application of sewage sludge from urban wastewater. *Courrier Environnement INRA-ME&S, France.*
- Dvorlai W, Jens RN (1999). Simple stereological procedure to estimate the number and dimensions of root hairs. *Plant Soil*, 209: 129-136.
- Ecrin, 2000. Que faire des boues? (What doing with sludge?). Club Environnement et Société, w.w.w.ecrin.asso.fr.
- El Fels L., 2010 : Valorisation et traitement de boues de step de Marrakech par la filière de compostage. Mémoire Master, Faculté des sciences Agadir
- EL FELLS, L. (2014). Suivi physico-chimique, microbiologique et écotoxicologique du compostage de boues de step mélangées a des déchets de palmier: validation de nouveaux indices de maturité. Thèse doctorat. Université de Toulouse, Toulouse
- EL HACHEMI, O., (2012). «Traitement des eaux usées par lagunage naturel en milieu désertique: performances épuratoires et aspect phytoplanktonique». Thèse de doctorat, université Mohamed premier d'Oujda Maroc, 140 pages
- Engel, K. and E.A. Kirkby, 2001. *Principles of Plant Nutrition*. 5th Edn., Springer Publishers, Boston, London, ISBN: 9781402000089, Pages: 849

Références bibliographiques

- Evans, T.D. (2001). An Update on Developments in Regulations Affecting Biosolids in the European Union. Proceedings of the WEF/AWWA/CWEA Joint Residuals and Biosolids Management Conference, San Diego, California.
- Fan WG, Yang HQ (2007) Nutrient deficiency affects root architecture of young seedlings of *Malus hupehensis* (Pamp) Rehd. under conditions of artificial medium cultivation. *Agricuktural Science Chine*, 6: 296-303.
- Faouzi K., Contribution à l'étude de la délimitation géographique et l'optimisation de la production et de la plantation de l'arganier, du caroubier et du pistachier de l'Atlas dans la région orientale du Maroc, Thèse de doctorat, Faculté des sciences Oujda (2014) 206
- Farrell M, Jones DL (2010). Food waste composting: Its use as a peat replacement. *Waste Manage*; 30: 1495-1501.
- Fars, S., 1994. Etude de l'élimination des métaux lourds (Cu, Zn, Pb et Cd) contenus dans les eaux usées de Marrakech par quatre systèmes expérimentaux : Lagunage anaérobie, Lagunage aéro-anaérobie, Sur-irrigation drainage et infiltration-percolation. Thèse de 3ème cycle, Univ. Cadi Ayyad, Fac. Sci. Semlalia, Marrakech, 157 p.
- Ferreras LA, Costa JL, FO, and Pewrari C (2000) Effect of no. tillage on some soil physical properties of a structural degraded petrocalcic pateudoll of the Southern Pampa of Argentina. *Soil Till. Res.*, 54: 31-39.
- Fidele M K (2020). Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes : « Cas de l'Université Kimpa Vita d'Uíge /Angla». Thèse de doctorat. Université Côte d'Azur, Côte d'Azur.
- Fitter AH, L. Williamson, B. Linkhor, Leyser O (2002). Root system architecture determines fitness in an *Arabidopsis* mutants in competition for immobile phosphate ions but not for nitrate ions. *Proc. Royal Soc. London, Ser.*, 269: 2017-2022.
- Francou, C. 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - Recherche d'indicateurs pertinents, Thèse de Doctorat, Institut national agronomique ParisGrigon, 289p.
- GADOUM, A. (2020). Contribution à l'étude de la biologie de *cératonia siliqua L*: effet du déficit hydrique. Thèse de doctorat. Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene. Alger

Références bibliographiques

- Garcia M C, Daverede P, Gallego M (1999). Effect of various potassium-calcium ratios on cation nutrition of grape grown hydroponically. *Journal of Plant Nutrition*, 22, 417-425.
- Garrec N., Picard-Bonnaud F., Pourcher AM., 2003. Occurrence of *Listeria* sp. and *L. monocytogenes* in sewage sludge used for land application: effect of dewatering, liming and storage in tank on survival of *Listeria* species. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 35, 3, 275-28.
- Genin D, Kadri A, Khorchani T, Sakkal K, Belgacem F, Hamadi M (2004) Valorization of Date-Palm By-Products (DPBP) for Livestock Feeding in Southern Tunisia. I-Potentialities and Traditional Utilisation. In: *Nutrition and Feeding Strategies of Sheep and Goats Under Harsh Climates*, Ben Salem, H., A. Nefzaoui and P. Morand-Fehr (Eds.). CIHEAM, Zaragoza, Spain, pp: 227-232.
- Godden B. (1986). Etude du processus de compostage du fumier de bovin. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Université Libre de Bruxelles. Laboratoire de microbiologie, 136 pages+annexes
- Gomez E, Ferreras L, Toresani S, Ausilio A, Bisaro V (2001) Changes in some soil properties in a Vertic Argiudoll under short-term conservation tillage. *Soil Tillage Research*, 61: 179-186.
- Grigatti M, ME Giorgonni, Ciavatta C (2007). Compost-based growing media: Influence on growth and nutrient use of bedding plants. *Bioresour. Technol.*, 98: 3526-3534.
- Gruhn P., Goletti F., and Yudelman M. (2000) Integrated Nutrient Management, Soil Fertility, and Sustainable Agriculture: Current Issues and Future Challenges In Food, Agriculture, and the Environment Discussion Paper 32. eds International Food Policy Research Institute ISBN 0-89629-638-5. 27p
- Guy Atlan M, 2003. Les boues d'épuration leurs perspectives de gestion en Ile de France. Thèse, doctorat, Paris. 128p.
- Harada Y., Inoko A., Tadaki M. et Izawa T. (1981). "Maturing process of city refuse compost during piling." *Soil Sci.Plant. Nutr.*, 27, 3:357-364.
- Hassen A; Belguith K, Jedidi N, Cherif A, Cherif M, Boudabous A. (2001). « Microbial characterisation during composting of municipal solid waste». *Bioresource Technol*; 80: 217-225
- Henri Ricard. (1965). *Engrais et productivité de la terre*. Edition Flammarion France. 11-29

Références bibliographiques

- Hue, N.V., Liu, J., 1995. Predicting compost stability. *Compost Science & Utilization* 3: 8– 15.
- Iglesias-Jiménez E, Barral-Silva MT, Marhuenda-Egea FC (2008) Indicadores de la estabilidad y madurez del compost. J. Moreno, R. Moral (Eds.), *Compostaje*, MundiPrensa, Madrid, pp. 243-283.
- Iglesias-Jimenez E. et Perez-Garcia V. (1989). "Evaluation of city refuse compost maturity: A review". *Biological Wastes*, 27:115-142.
- Jahns S (2003) A late Holocene pollen diagram from the Megaris Greece, giving possible evidence for cultivation of *Ceratonia siliqua* L. during the last 2000 years. *Vegetal. Historic Archaeobotanic* 12, 127–130.
- Jardé, E. (2002). *Composition organique de boues résiduaires de stations d'épuration lorraines : caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation*. Thèse de doctorat. l'Université Henri Poincaré, Nancy I. Nancy.
- Jardé, E; Mansuy, L., Faure P., 2003. Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 68-69, 331-350.
- Jouraiphy A, Soumia A, Gharous ME, Revelc JC, Hafidi M (2005) Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformation during composting of sewage sludge and green plant waste. *International Biodeterioration Biodegradation*, 56: 101-108.
- Jouraiphy A., 2007: *Compostage des boues activées déchets verts, analyse physicochimiques, microbiologiques, toxicologiques, bilan humique et valorisation agronomique*, Thèse de doctorat, Université Caddi Ayyad, Faculté des sciences Semlalia, Marrakech.
- Karak T, Bhattacharyya P, Paul RK (2014) Assessment of Co-Compost Quality by Physico-Chemical and Exploratory Data Analysis. *Clean-Soil Air Water* 42 (6), 836–848.
- Keutgen, A.J. and E. Pawelzik, 2007. Modifications of strawberry fruit antioxidant pools and fruit quality under NaCl stress. *J. Agric. Food Chem.*, 55: 4066-4072.
- Klöpffer W, 1996. Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge. *Chemosphere*, 33, 1067-1081.
- Koller E, 2004. *Traitement des pollutions industrielles*. Ed, Dunod. Paris PP59-90.
- Koller M; (2009). *Traitement des pollutions industerielle*, 2^{ème} édition. Dunod pp 566

Références bibliographiques

- Kopittke PM, Menzies NW (2007). A review of the use of the Basic Cation Saturation Ratio and the 'ideal' soil. SSSAJ 71:259–265.
- Krasilnikoff G, TS Gahoonia, Nielsen NE (2003). Variation in phosphorus uptake efficiency by genotypes of cowpea (*Vigna unguiculata*) due to differences in root and root hair length and induced rhizosphere processes. Plant Soil, 251: 83-91.
- LARBI, K. (2009). Méthanisation des boues de la station d'épuration urbaine de Hassi R'mel. Diplôme de magister en chimie appliqué et développement durable. Université de Mostaganem.
- Latigui A (1992). Effect of different fertilizations of the eggplant and tomatoes grown in inert media on the biotic potential of *Macrosiphum euphorbiae* PhD Univ. Aix Marseille III, France.
- Latigui A. and A. Dellal, 2009. Effect of different variations NH_4^+ compared to $\text{N}(\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-)$ fertilization of tomato cultivated in inert media on the fecundity of Aphids *Macrosiphum euphorbiae* (Homoptera Aphididae) American Journal of Plant Physiology, 4(2): 80-88, DOI: [10.3923/ajpp.2009.80.88](https://doi.org/10.3923/ajpp.2009.80.88)
- LATIGUI Ahmed, Jong Myung CHOI, Zineb REGAGBA, Daniella Meyer ALLEVATO and Amina LATIGUI, 2013 Use of Palm (*Poenixdactilyfera* L.) Fiber and Sewage sludge Co compost as Substrates in Soilless crop system. Pak. J. Biol. Sci. 16(14): 651-660, 2013 DOI: 10.3923/pjbs.2013.651.660
- Latigui Ahmed, Jong Myung CHOI, Zineb REGAGBA, Daniella Meyer ALLEVATO, Latigui A (2013). Use of Palm (*Poenixdactilyfera* L.) Fiber and Sewage sludge Co compost as Substrates in Soilless crop system. Pak. J. Biol. Sci. 16(14): 651-660, 2013 DOI: 10.3923/pjbs.2013.651.660.
- Lau KL, Tsang YY, Chiu SW (2003) Use of spent mushroom compost to bioremediate PAH-contaminated samples. Chemosphere, 52: 1539-154.
- Lazarev AP, Abrashin V (2000). Condition of structure and density of chernozem ordinary and their impact on the yield of wheat), Soil Sci. 5 (2000) 614-618.
- Leclerc B. 2001. Guide des matières organiques. (eds Guide Technique de l'ITAB),
- Liang C, Das KC, McClendon RW (2003) The influence of temperature and moisture content regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Bioresources Technology, 86: 131-137.
- LIBES, Y. 2010. Les eaux usées et leur épuration
- Lu LA, Kumar M, Tsai JC, Lin JG (2008) High-rate composting of barley dregs with sewage sludge in a pilot scale bioreactor. Bioresources Technology 99, 2210– 2217.

Références bibliographiques

- Lue-Hing, C., Zenz, D.R., Kuchenrither, R., 1992. Municipal sewage sludge management. In: Proceedings of Utilization and Disposal. Tecnominc Publ. Co. Inc., Lancaster.
- M. Bonneau, (1963). L'importance des propriétés physiques du sol dans la production forestière, Rev. For. Fr. 19–31.
- Maertens C (1964). La résistance mécanique des sols à la pénétration : ses facteurs et son influence sur l'enracinement. Ann. Agron., 15, 5 : 539-554.
- Magdi, T.A., Horiuchi, T., Oba, S., 2004. Composting of rice straw with oilseed rape cake and poultry manure and its effects on faba bean (*Vicia faba* L.) growth and soil properties. Bioresource Technol., 93, 2, 183-189
- Makhzoumi JM (1997) The changing role of rural landscapes: olive and carob multiuse tree plantations in the semiarid Mediterranean. Landscape Urban Plan. 37, 115–122.
- Masamba, C. (1994). « Presowing Seed Treatments On Four African Acacia Species : Appropriate Technology For Use In Forestry For Rural Development.» Forest Ecology And Management ». 64(2-3): 105-109
- MATHUR S.P., DOWEN G., DINEL H. et SCHNITZER M. (1993). "Determination of compost biomaturity. I. Literature review." Biological Agriculture and Horticulture 10: 65-85.
- Matysiak B, Bielenin M (2005). Effect of nutrient solution composition on Growth, Flowering, Nu-rient status and cold hardiness of *Rhododendron yakushimanum* grown on Ebb-and-flow benches. Eur. J. Hort. Sci., 70: 35-42.
- Mbuligwe S.E., Kassenga G.R., Kaseva M.E. & Chaggu E.J. (2002). "Potential and constraints of composting domestics solid waste in developing countries : findings from a pilot study in Dar es Salaam." Resources, Conservation and Recycling 36: 45-59.
- Medina E, Paredes C, Bustamante MA, Moral R, Moreno-Caselles J (2012) Relationships between soil physico-chemical, chemical and biological properties in a soil amended with spent mushroom substrate. Geoderma, 173-174: 152-161.
- Meekings, H.J., Stentiford, E.I., Lee, D.L., 1996. The effect of sewage sludge compost on the viability of the eggs of a parasitic nematode. Compost Science & Utilization 4: 46–54

Références bibliographiques

- Monedero MAS, Roig A, Cegarra J, Bernal MP, Noguera P, Abad M, Anton A (2004) Composts as media constituents for vegetable transplant production. *Compost Sciences. Utilization*, 12: 161-168.
- Morard P, Lacoste L, Silvestre J (2000) The effect of oxygen deficiency on the uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*; 23: 1063-1078.
- Morel PH, Poncet L, Rivière LM (2000). *Les supports de culture horticoles*. INRA Editions. 87p.
- Morgan L (2004). Effect of oxygen enrichment in the root zone on tomato crops. In *The Tomato Magazine*, Vol 2009. Columbia Publishing, Yakima, pp. 8-13.
- Muñoz, P, Antón A, Paranjpe A, Ariño J, Montero JI (2008). High decrease in nitrate leaching by lower N input without reducing greenhouse tomato yield. *Agron. Sustain. Dev.* 28, 489–495
- Mustin, M.1987. *Le compost. Gestion de la matière organique*. Edit. François Dubusc, Paris, France, 954 p
- Nazarenko LL, Polchyna SM, Nikorych VA (2004). *STextbook*, in: *Soil Science: Textbook*, Higher Education, Kyiv, Ukraine, 2004, 400 (in Ukrainian)
- Nemali KS, van Iersel MW (2004) Light intensity and fertilizer concentration. II. Optimal fertilizer solution concentration for species differing in light requirement and growth rate. *HortScience*, 39: 1293-1297.
- Noguera P, Abad M, Puchades R, Maquieira A, Noguera V (2003) Influence of particle size on physical and chemical properties of coconut coir dust as container medium. *Commun. Soil Sciences Plant Analyze*, 34: 593-605.
- O.T.V ; 1997. *Traiter et valoriser les boues*. Collection O, T, V No 2, 457p.
- Onwosi CO, Igbokwe VC, Odimba JN, Eke IE, Nwankwoala MO (2017)[Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects](#) *IJournal of environmental management* 190, 140-157
- Oubadi, M. (2011). *Etude de performance d'un procédé d'épuration OXYLAG « cas du lagunage de la ville de Mekmen Ben Ammar wilaya de Niaama »*. 83p
- Palermo M,ParadisoR,DePascaleS,FoglianoV(2012).HydroponicCultivationImprovestheNutritionalQuality of Soybean and Its Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 250-255.

Références bibliographiques

- Perera P et Baudot B., Procédés extensifs d'épuration des eaux usées, France (mai, 1991).
- Petit KMB, 2007. Actulisation des connaissances sur les elements biologiques et minnéraux persistants das les boues des stations d'épuration. impact sur la santé publiques. These de Doctorat: Ecole Nationale Vétérinaire d'Alfort. 141p.
- Pierret A, CJ. Moran CB Kirby JM (2000). Measurement of root length density in intact samples using X-radiography and image analysis. Image Anal. Stereol., 19: 145-149.
- PONTAILLER S, 1971. Engrais et fumure. 4ème Ed .Presse universitaire de France. 127p.
- Racault Y., Bois J.S., Carre J., Duchene Ph., Lebaudy B., Lesavre J., Lickel P., Rateau M., Vachon A., 1997, Le lagunage naturel, les leçons tirées de 15 ans de pratique en France, CoEd. Cemagref, Agence de l'eau Loire-Bretagne, Orléans, 60 p
- Racault, Y., and Boutin, C. (2004). Le lagunage naturel en France – État de l'art et
- RACAULT, Y.,(1997). «Le lagunage naturel- les leçons tirées de 15 ans de pratique en France». Coédition Cemagref éditions, ISBN 2-85362-453-6, 64 pages
- RAKOTONDRAMIANANA, H. T (2004). Etude théorique du séchage thermique et de la digestion anaérobie des boues des stations d'épuration – Mise au point des dispositifs pilotes de laboratoire pour la caractérisation expérimentale liée au séchage et à la méthanisation des boues. Thèse de doctorat. Université d'Antananarivo. France.
- RAMADE F. (2000)- Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed. Ediscience international, Paris, 689p.
- Rapport Technique, 'Inventaire des Forages d'Eau et Enquête sur les Débits Extraits de la Wilaya de Ghardaïa', A.N.R.H, Secteur de Ghardaïa, Exercice 2011, 88 p., Décembre 2011.
- Raviv M, S Medina A, Krassnovsky, Y Laor, Aviani I (2007). Horticultural value of composted olive mill wastes. Proceedings of International Conference New Technologies for the Treatment and Valorization of Agro by-Products, October 3-5, 2007, Terni, Italy, pp: 21-21.
- Régis Bourrier, Marc Satin, Béchir Selmi, (2010), « Guide technique de l'assainissement » (collecte-épuration-conception-exploitation), 4^{ème} édition.
- Renou, S. (2006). Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées. Thèse de doctorat. Institut National École Polytechnique de Lorraine. Lorraine

Références bibliographiques

- Rhizopoulou S, Davies WJ (1991) Influence of soil drying on root development, water relations and leaf growth of *Ceratonia siliqua* L. *Oecologia* 88, 41–47.
- Rhizopoulou S. (2004). Aspects of cell wall extensibility in *Ceratonia siliqua* L. *Flora* 199, 327–333.
- Rihani M, Malamis D, Bihaoui B, Etahiri S, Loizidou M, Assobhei O (2010) In-vessel treatment of urban primary sludge by aerobic composting. *Bioresources Technology* 101, 5988–5995.
- Rodier. J. (2005). *L'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, Paris* (2009), 9^{ème} édition.
- Roeber R (1999) Advances in nutrition and fertilization of cut flowers in relationship to environmental considerations. *Acta Horticulturae*, 482: 351-362.
- Rouphael Y, Colla G (2005). Yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Sci. Hortic.*, 105 (2005), pp. 177-195.
- Rozman HD, Lai CY, Ismail H, Zam I (2000). The effect of coupling agents on the mechanical and physical properties of oil palm empty fruit bunch-propylene composites. *Polym. Int.*, 49: 1273-1278.
- Rubio V, Bustos M.L, Irigoyen X, Cardona-Lopez M, Rojas-Triana, Paz-Ares J (2009). Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Mol. Biol.*, 69: 361-373.
- Sahlström L., Aspan A., Bagge E., Tham MLD., Albin A., 2004. Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. *Water Research*, 38, 1989-1994
- Salas M.C, Urrestarazu M (2001). *Technique Fertigation in Soilless Culture*. Manuals Almeria University Publications Services, Spain, Pages: 280.
- Sambo P., Franco Sannazzaro¹, and Michael R. Evans (2008). Physical Properties of Ground Fresh Rice Hulls and Sphagnum Peat Used for Greenhouse Root Substrates. *Am. Soc. Hort. Sci.* (18): 3.
- Santamaria PG, Campanile A, Parente-Elia A (2003). Subirrigation vs drip-irrigation: Effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 78: 290-296.
- Saviozzi A, Cardelli R, Levi-Minzi R, Riffaldi R (2004) Evolution of biochemical parameters during composting of urban wastes. *Compost Science Utilization*, 12: 153-160.
- Sbay H. et Abourouh M.(2006). Apport des espèces à usages multiples pour le

Références bibliographiques

développement durable : cas du pin pignon et du caroubier. Centre de recherche forestière haut commissariat aux eaux et forêts et à la lutte contre la désertification, Rabat, pp. 1-9.

- Scaglia B, Tambone F, Genevini PL, Adani F (2000) Respiration index determination: Dynamic and static approaches. *Compost Sciences Utilization*, 8: 90-98.
- Schroder FG, Lieth JH (2002). Irrigation Control in Hydroponics. In: *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*, Savvas, D. and H. Passam (Eds.). Embryo Publications, Athens, pp: 103-141.
- Seidl M et Mouchel J.M; 2003. Valorisation des eaux usées par lagunage dans les pays en voie de développement. Centre d'enseignement et de recherche Eau Ville Environnement, centre conjoint de l'ENGREF, de l'ENPC et de l'UPVM
- Semple KT, Redi BJ, Fermor TR (2001) Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environmental Pollution*, 112: 269-283.
- Shamrukh M, Corapcioglu M, Hassona, FAA (2001). Modeling the effect of chemical fertilizers on ground water quality in the Nile Valley aquifer, Egypt.
- Shober AL, Stehouwer RC, Macneal KE (2003) On-farm assessment of biosolids effects on soil and crop tissue quality. *Journal of Environmental Quality*, 32: 1873-1880.
- Skiredj, A (2005). Fertigation of vegetable crop. General and calculation of nutrientsolutions. Department of Horticulture/IAV Hassan II/Rabat-Morocco
- Smeesters E., 1993 - Le compostage domestique "comment transformer vos déchets organiques en mine d'or pour le jardin "bibliothèque nationale du Québec
- Soltner D. (1986). Les bases de la production végétale. Tome I, Le sol [Texte imprimé] : phytotechnie générale : le sol, le climat, la plante. Angers : Sciences et techniques agricoles. 14eme Edition 464 p
- SOLTNER ; 1988 : Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed. 16ème éditions 464P.
- Songsri P, Jogloy S, N. Vorasoot, C Akkasaeng, A Patanothai, Holbrook CC (2008). Root distribution of drought-resistant peanut genotypes in response to drought. *J. Agron. Crop Sci.*, 194: 92-103.
- Spaccini, R., Piccolo, A., Conte, P., Haberhauer, G., Gerzabek, M.H., 2002. Increased soil organic carbon sequestration through hydrophobic protection by humic substances. *Soil Biol. Biochem.*, 34, 1839–1851.

Références bibliographiques

- Spomer, L. A. 1990. Evaluating drainage in container and other shallow-drained horticultural soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21(3& 4): 221-235
- Tabatabaei SJ, Fatemi LS, Fallahi E (2006) Effect of ammonium: Nitrate ratio on yield, calcium concentration and photosynthesis rate in strawberry. *Journal of Plant Nutrition*, 29: 1273-1285.
- Taheri Soudejani H, Kazemian H, Inglezakis VJ, Zorpas AA (2019) Application of zeolites in organic waste composting: A review. *Biocatalyse Agricultural Biotechnology*. 101396.
- tendances (pp. 77–86). Retrieved from http://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/Lagunage_France_EAT2004.pdf
- Thompson W, Legee P, Millner P, Watson M (2001) Test methods for the examination of composting and compost. The United States Composting Council Research and Education Foundation. The United States Department of Agriculture.
- Tilman, David, Kenneth G. Cassman, Pamela A. Matson, Rosamond Naylor, and Stephen Polasky. 2002. "Agricultural Sustainability and Intensive Production Practices." *Nature* 418 (6898): 671–677.
- TIQUIA S.M. & TAM N.F.Y. (1998). "Elimination of phytotoxicity during cocomposting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge." *Bioresource Technology* 65: 43-49.
- Tittarelli F, Trinchera A, Intrigliolo F, Benedetti A (2002) Evaluation of organic matter stability during the composting process of agroindustrial wastes. In: *Microbiology of composting*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 397–406.
- Tournade J., et Michau J., 2011 - Les engrais de ferme. Une ressource de qualité au service de la fertilité des sols ; étude réalisée pour le compte, article de la chambre d'agriculture et de territoires de Dordogne, France.
- Tuomela M, Vikman M, Hatakka A, Itavaara M (2000) Biodegradation of lignin in a compost environment: A review. *Bioresources Technology*. 72: 169-183.
- TUOMELA M; VIKMAN M; HATAKKA A; ITAVAARA M. (2000). « Biodegradation of lignin in a compost environment: a review ». *Bioresource Technol.* 72: 169-183.
- Urrestarazu, M., M. del Carmen Salas, D. Valera, A. Gomez and P.C. Mazuela, 2008. Effects of heating nutrient solution on water and mineral uptake and early yield of two cucurbits under soilless culture. *J. Plant Nutr.*, 31: 527-538.

Références bibliographiques

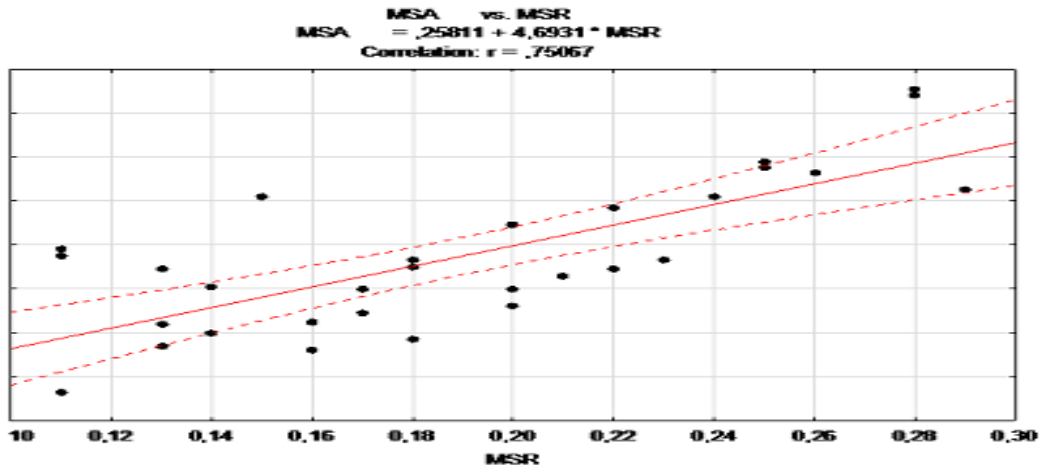
- Vaughn SF, NA Deppe DE, Palmquist, Berhow MA (2011). Extracted sweet corn tassels as a renewable alternative to peat in greenhouse substrates. *Ind. Crops Products*, 33: 514-517
- VEDRY B; (1975). L'analyse écologique des boues activeés.SGETEC
- Veolia Eau. (2008). Les Enjeux d'assainissement. Service Technique. Marseille: Région Sud -Est.
- Vercambre, G, Pages L, C Doussan, Habib R (2003). Architectural analysis and synthesis of the plum tree root system in an orchard using quantitative modelling approach. *Plant Soil*, 51: 1-11.
- Viscarra, R, Chen C, Grundy M, Searle R, Clifford D, Campbell P (2015). The Australian three-dimensional soil grid: Australia's contribution to the GlobalSoilMap project. *SOIL RES.* 53 (8), 845–864.
- Wang Y, Kexue L, Xi L (2009). Auxin redistribution modulates plastic development of root system architecture under salt stress in *Arabidopsis thaliana*. *J. Plant Physiol.*, 166: 1637-1645.
- Webber C., Whitworth J, Dole J (1999) Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) core as a containerized growth medium component. *Indian Crops Production*, 10: 97-105.
- Werther J., Ogada T., 1999. 'Sewage sludge combustion', *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 25, pp.55-116.
- WHO. (1987). Mara, D.D. and Pearson, H.W., *Waste Stabilization ponds Design: Manual for Mediterranean Europe* (p. 101).
- Wolters H, Jurgens J (2009) Survival of the flexible: Hormonal growth control and adaptation in plant development. *Natural Revue of Genetique*, 10: 305-317.
- Yañez R., Alonso JL, Diaz MJ (2009) Influence of bulking agent on sewage sludge composting process. *Bioresources Technology* 100, 5827–5833.
- Yevtushenko (2016) ; Changes in balk density and porosity of chernozem typical under different cultivation systems"@eng. **Annals of Agrarian Science** ISSN : 1512-1887
- Zaigham S, Amtmann A (2017). Food for thought: how nutrients regulate root system architecture *Plant Biology* 2017, 39:80–87
- Zohary D (2002) Domestication of the carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Israeli Journal of Plant Sciences* 50, 141–145.

Références bibliographiques

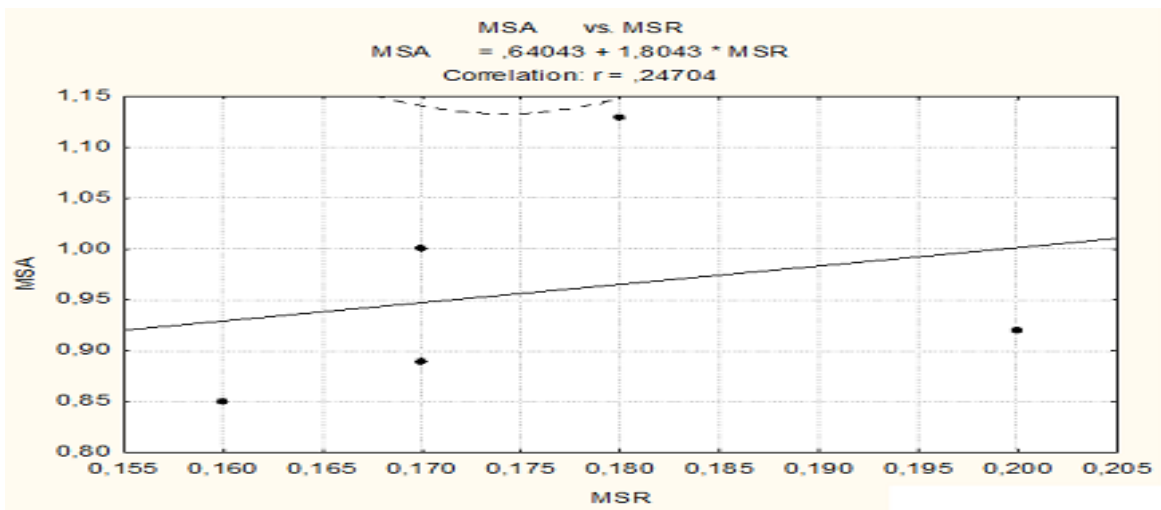
- Zorpas, A.A., Arapoglou, D., Panagiotis, K., 2003. Waste paper and clinoptilolite as a bulking material with dewatered anaerobically stabilized primary sewage sludge (DASPSS) for compost production. *Waste Management*. 23, 27-35.
- Zouhair O (1996) Le caroubier: situation actuelle et perspectives d'avenir, Document interne, Eaux et forêts, Maroc, pp 22.

Annexes

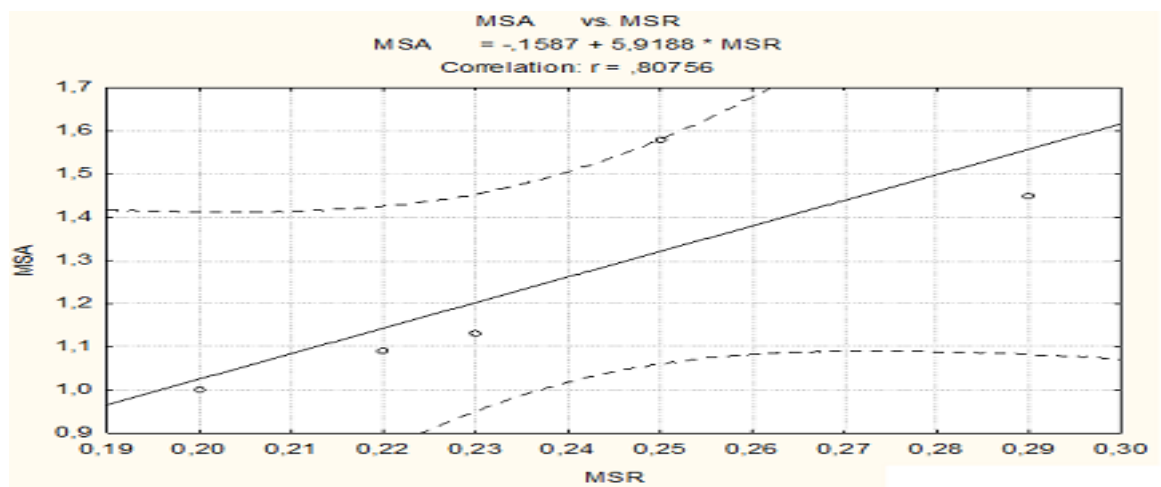
Annexes



Annexe 01 : Corrélation globale entre la MSR et la MSA entre les répétitions de tous les substrats

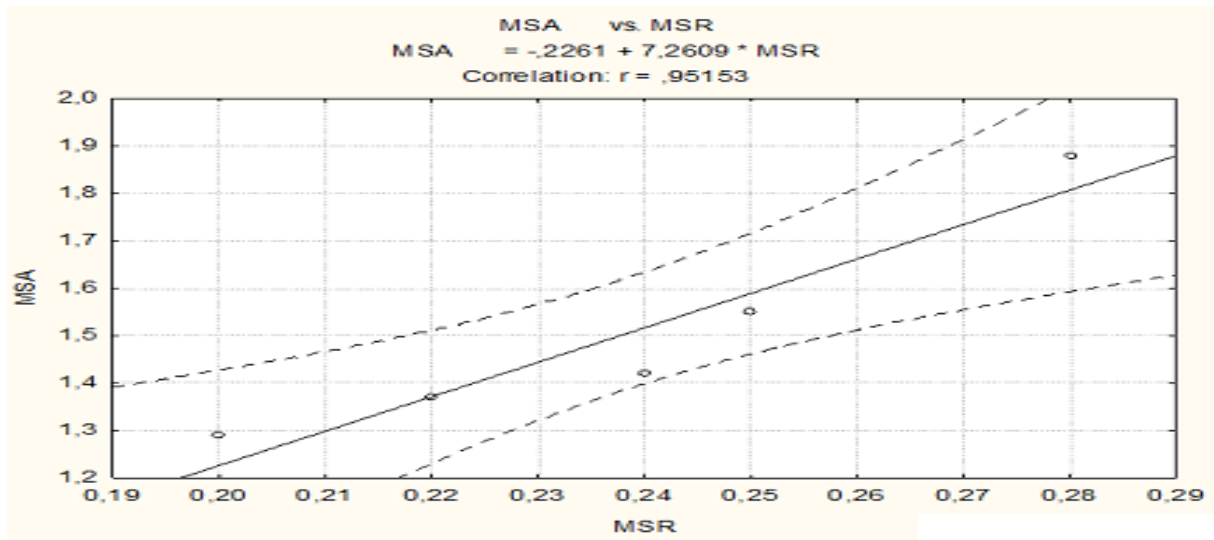


Annexe 02 : Corrélation globale entre la MSR et la MSA du T [9-1]

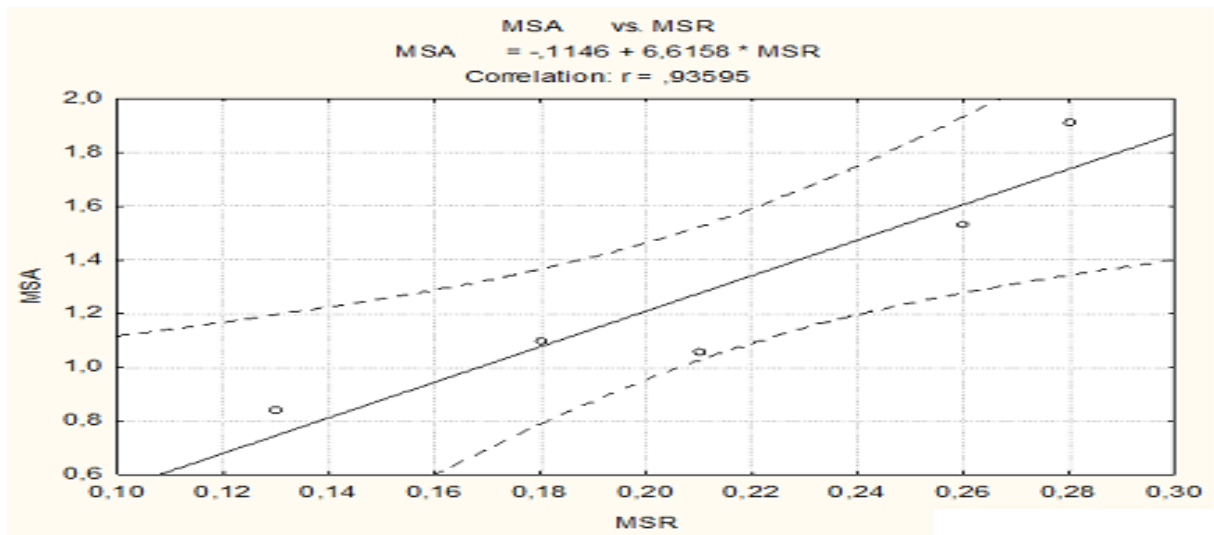


Annexe 03: Corrélation globale entre la MSR et la MSA du T [8-2]

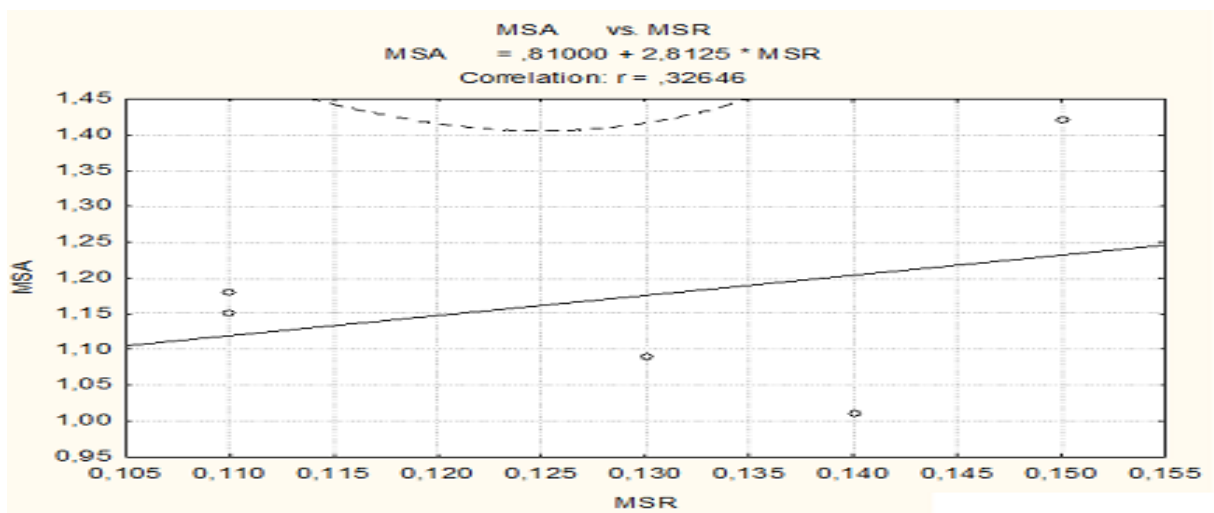
Annexes



Annexe 4 : Corrélation globale entre la MSR et la MSA du T [7-3]

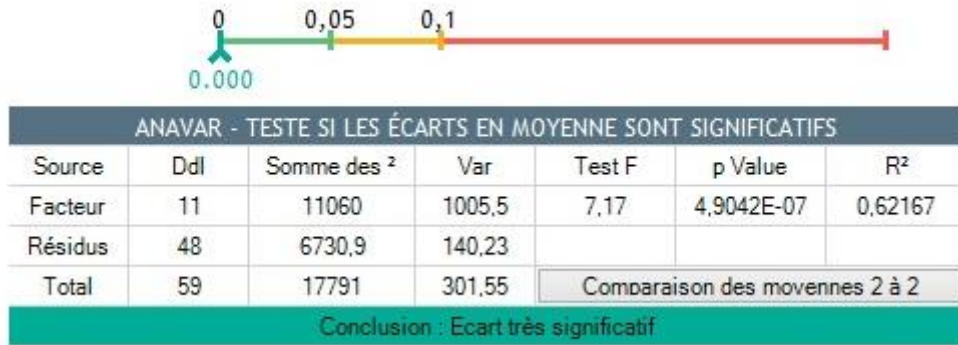


Annexe 05: Corrélation globale entre la MSR et la MSA du T [6-4]



Annexe 06: Corrélation globale entre la MSR et la MSA de la Tourbe

Annexes



Annexe 07 : Poids des fruits (PF)



TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	4,32
Risque alpha :	0,96
Conclusion :	Non significatif



Annexe 08: Volume des racines (VR)

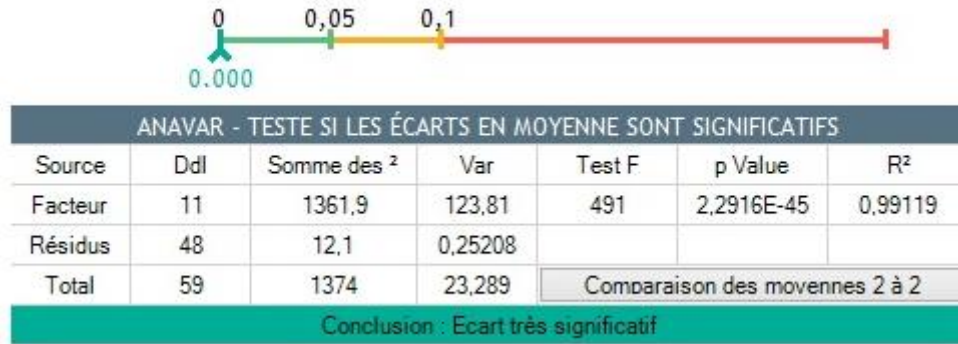


Annexe 09 : Distribution des racines (DR)

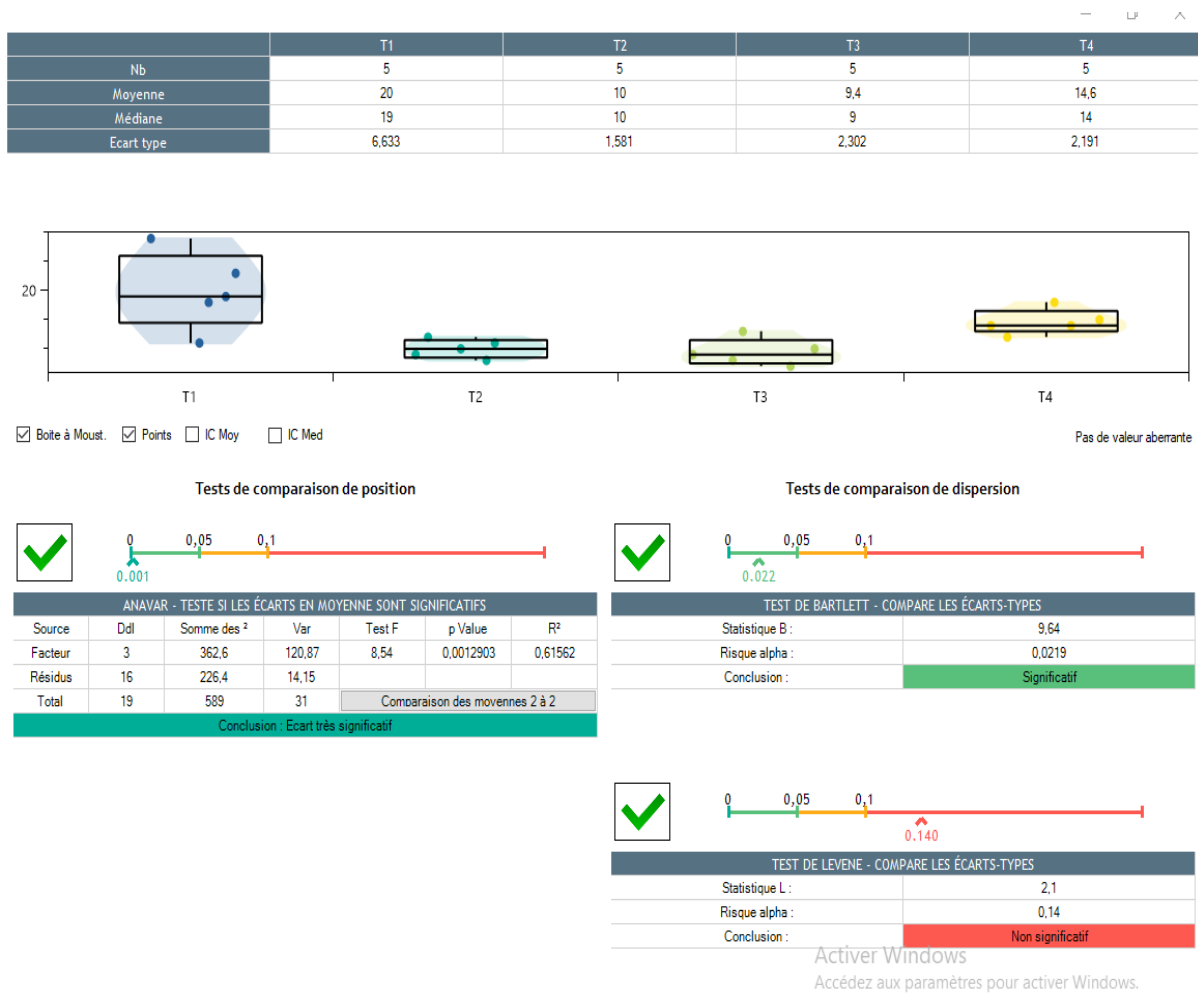


Annexe 10 : Nombre de racines (NR)

Annexes



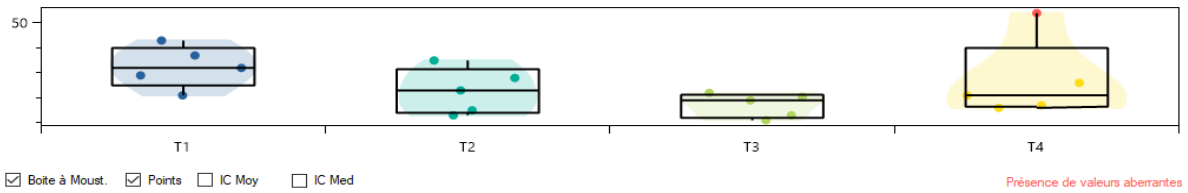
Annexe 11 : Longueur des racines (LR)



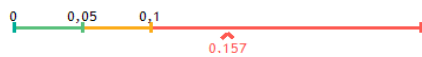
Annexe 12 : Nombre des feuilles

Annexes

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	32,4	22,8	17,08	26,8
Médiane	32	23	19	21
Ecart type	8,295	9,121	4,81	15,71



Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	626,77	208,92	1,98	0,15747	0,27085
Résidus	16	1687,3	105,46			
Total	19	2314,1	121,79	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart non significatif

Tests de comparaison de dispersion



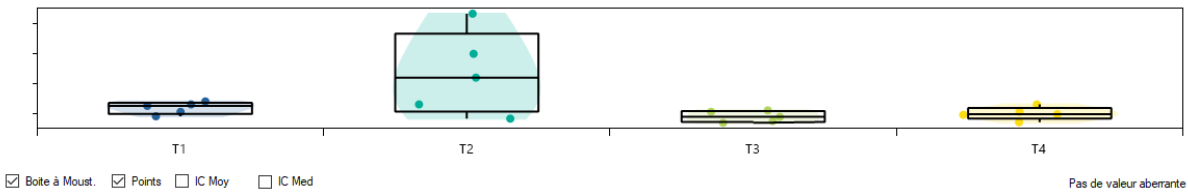
TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	4,82
Risque alpha :	0,185
Conclusion :	Non significatif



TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	0,48
Risque alpha :	0,702
Conclusion :	Non significatif

Annexe13 : Nombre de racine

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	11,8	23,34	8,9	9,94
Médiane	12,5	22	8,8	9,7
Ecart type	2,019	14,04	1,847	2,155



Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	667,75	222,58	4,25	0,021743	0,44369
Résidus	16	837,22	52,327			
Total	19	1505	79,209	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart significatif

Tests de comparaison de dispersion



TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	23,1
Risque alpha :	3,83E-05
Conclusion :	Très significatif

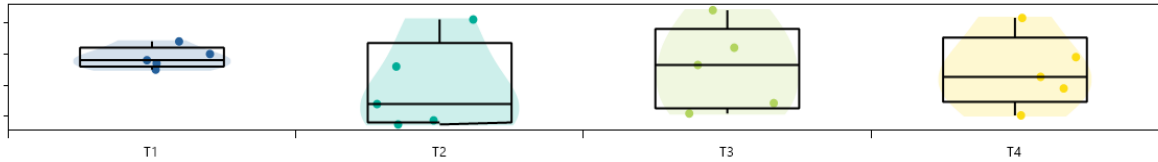


TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	6
Risque alpha :	0,0061
Conclusion :	Très significatif

Annexe14: Longueur tige

Annexes

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	28.8	19.46	25.56	24.52
Médiane	28	14	26.5	22.7
Ecart type	3.421	14.08	13.43	11.64



Boite à Moust. Points IC Moy IC Med

Pas de valeur aberrante

Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R²
Facteur	3	224.93	74.978	0.571	0.64247	0.096634
Résidus	16	2102.8	131.42			
Total	19	2327.7	122.51	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart non significatif

Tests de comparaison de dispersion



TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	6.02
Risque alpha :	0.111
Conclusion :	Non significatif

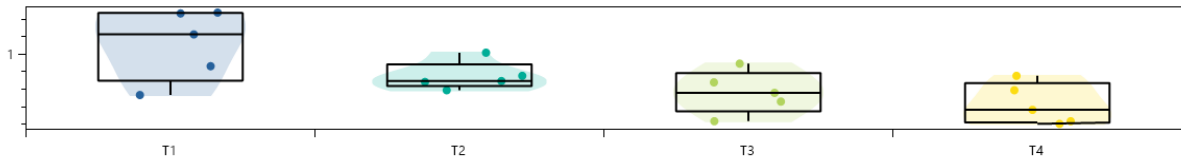


TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	1.2
Risque alpha :	0.335
Conclusion :	Non significatif

Activer Windows
Appuyez sur les paramètres pour activer Windows

Annexe 15 : Longueur des racines

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	1.116	0.749	0.566	0.43
Médiane	1.23	0.695	0.56	0.365
Ecart type	0.4097	0.1626	0.246	0.2367



Boite à Moust. Points IC Moy IC Med

Pas de valeur aberrante

Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R²
Facteur	3	1.3269	0.4423	5.69	0.0075508	0.51626
Résidus	16	1.2433	0.077707			
Total	19	2.5702	0.13527	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart très significatif

Tests de comparaison de dispersion



TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	3.21
Risque alpha :	0.361
Conclusion :	Non significatif



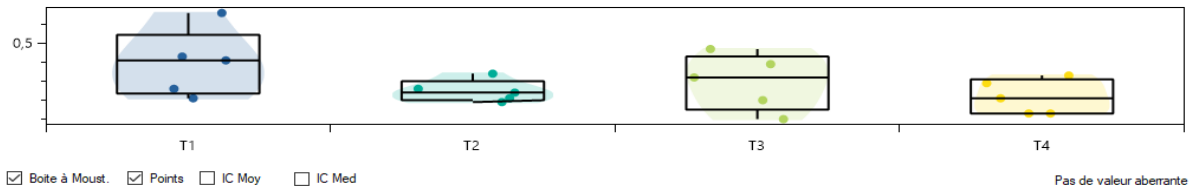
TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	1.2
Risque alpha :	0.333
Conclusion :	Non significatif

Activer Windows

Annexe 16 : Distribution des racines (g)

Annexes

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	0,394	0,248	0,296	0,218
Médiane	0,41	0,24	0,32	0,21
Ecart type	0,1762	0,05805	0,1477	0,09121



Tests de comparaison de position



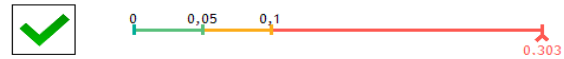
ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	0,08898	0,02966	1,84	0,18092	0,25629
Résidus	16	0,2582	0,016138			
Total	19	0,34718	0,018273	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart non significatif

Tests de comparaison de dispersion



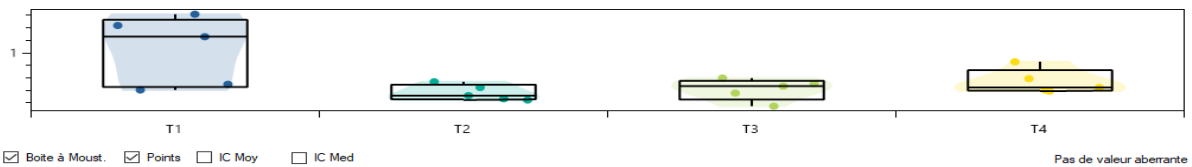
TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	4,61
Risque alpha :	0,203
Conclusion :	Non significatif



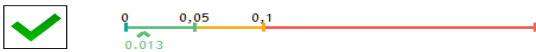
TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	1,3
Risque alpha :	0,303
Conclusion :	Non significatif

Annexe 17 :MSR

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	1,046	0,366	0,418	0,54
Médiane	1,26	0,32	0,47	0,45
Ecart type	0,5552	0,1246	0,1728	0,1952



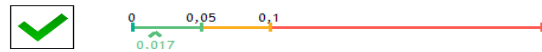
Tests de comparaison de position



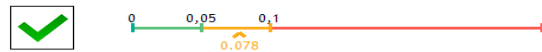
ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	1,4509	0,48362	4,94	0,012934	0,48074
Résidus	16	1,5671	0,097945			
Total	19	3,018	0,15884	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart significatif

Tests de comparaison de dispersion



TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	10,2
Risque alpha :	0,0166
Conclusion :	Significatif

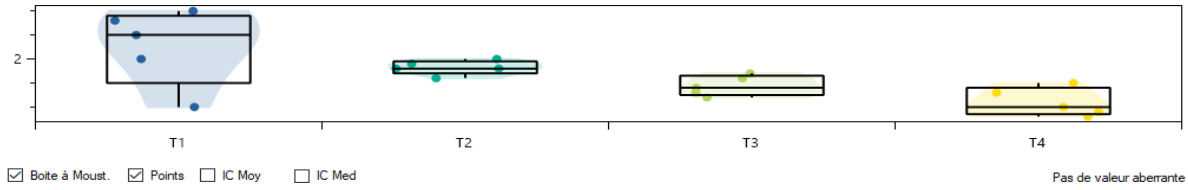


TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	2,7
Risque alpha :	0,0784
Conclusion :	Non significatif

Annexe 18:MSA

Annexes

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	2,26	1,82	1,44	1,1
Médiane	2,5	1,8	1,4	1
Ecart type	0,7987	0,1483	0,2074	0,2915



Boite à Moust. Points IC Moy IC Med

Pas de valeur aberrante

Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	3,7375	1,2458	6,32	0,0049326	0,54249
Résidus	16	3,152	0,197			
Total	19	6,8895	0,36261	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart très significatif

Tests de comparaison de dispersion



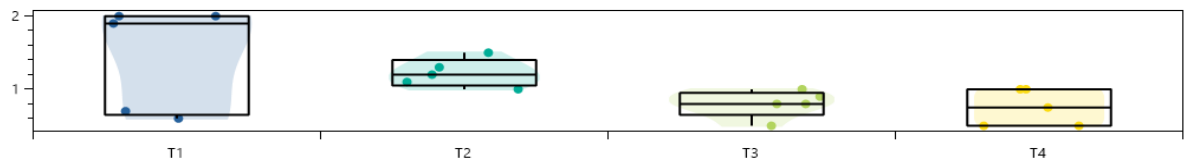
TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	12,2
Risque alpha :	0,0066
Conclusion :	Très significatif



TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	2,2
Risque alpha :	0,123
Conclusion :	Non significatif

Annexe 19 : Volume global des racines

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	1,44	1,22	0,8	0,75
Médiane	1,9	1,2	0,8	0,75
Ecart type	0,7232	0,1924	0,1871	0,25



Boite à Moust. Points IC Moy IC Med

Pas de valeur aberrante

Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	1,6674	0,55579	3,38	0,044274	0,388
Résidus	16	2,63	0,16438			
Total	19	4,2974	0,22618	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart significatif

Tests de comparaison de dispersion



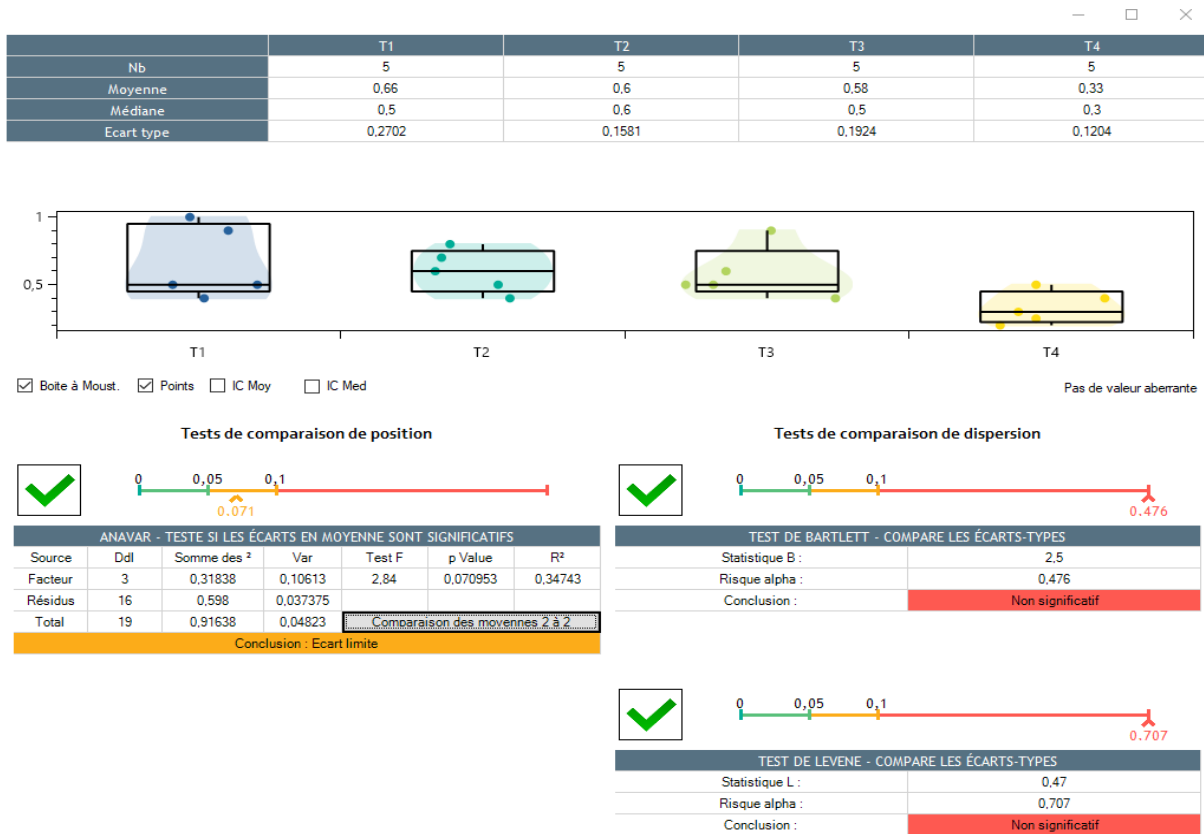
TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	10,3
Risque alpha :	0,0161
Conclusion :	Significatif



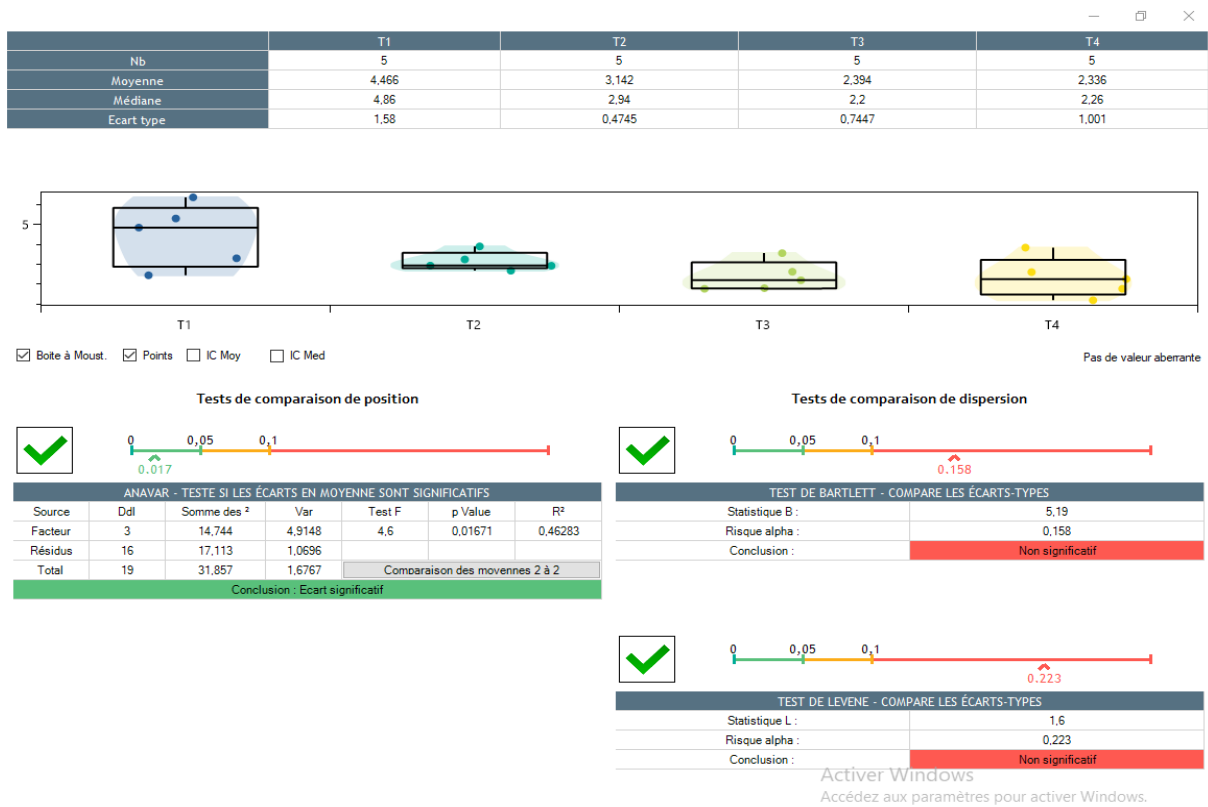
TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	1,7
Risque alpha :	0,216
Conclusion :	Non significatif

Annexe 20 : Volume partie supérieur des racines

Annexes



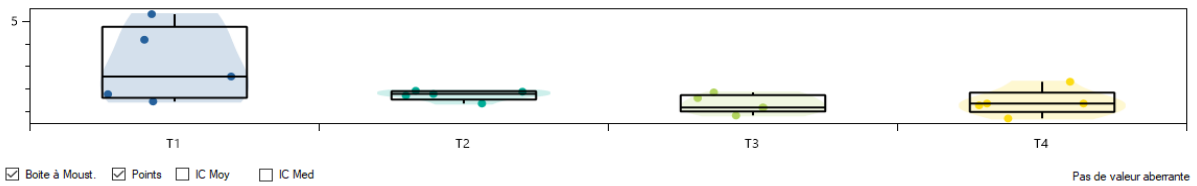
Annexe 21 : Volumes partie inferieur des racines



Annexe 22: Matière fraîche des plantes

Annexes

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	3,068	1,75	1,348	1,424
Médiane	2,57	1,8	1,2	1,38
Ecart type	1,641	0,2227	0,3995	0,5818



Tests de comparaison de position

0 0,05 0,1
0.028

ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des 2	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	9,5899	3,1966	3,95	0,027721	0,42535
Résidus	16	12,956	0,80974			
Total	19	22,546	1,1866	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart significatif

Tests de comparaison de dispersion

0 0,05 0,1
0.002

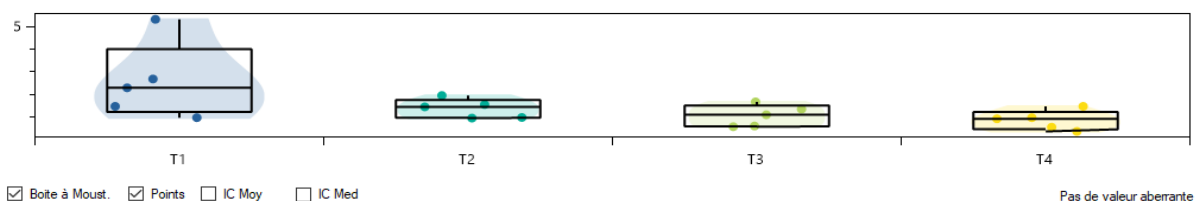
TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	14,8
Risque alpha :	0,00199
Conclusion :	Très significatif

0 0,05 0,1
0.033

TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	3,7
Risque alpha :	0,033
Conclusion :	Significatif

Annexe 23: Matière fraîche Partie aérienne

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	2,546	1,376	1,058	0,854
Médiane	2,29	1,45	1,1	0,92
Ecart type	1,69	0,4194	0,4768	0,4283



Tests de comparaison de position

0 0,05 0,1
0.047

ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des 2	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	8,5764	2,8588	3,32	0,046542	0,38385
Résidus	16	13,767	0,86043			
Total	19	22,343	1,176	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart significatif

Tests de comparaison de dispersion

0 0,05 0,1
0.008

TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	11,8
Risque alpha :	0,008
Conclusion :	Très significatif

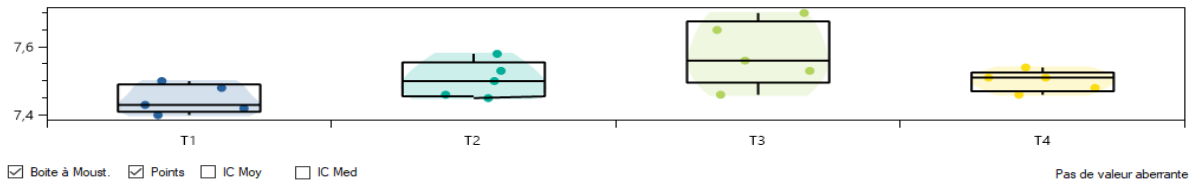
0 0,05 0,1
0.163

TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	1,9
Risque alpha :	0,163
Conclusion :	Non significatif

Annexe 24: Matière fraîche des racines

Annexes

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	7,446	7,504	7,58	7,5
Médiane	7,43	7,5	7,56	7,51
Ecart type	0,04219	0,0532	0,09566	0,03082



Boite à Moust. Points IC Moy IC Med

Pas de valeur aberrante

Tests de comparaison de position



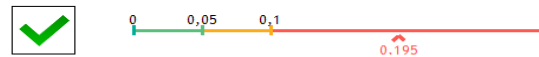
ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	0,045535	0,015178	4,13	0,024017	0,43626
Résidus	16	0,05884	0,0036775			
Total	19	0,10438	0,0054934	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart significatif

Tests de comparaison de dispersion



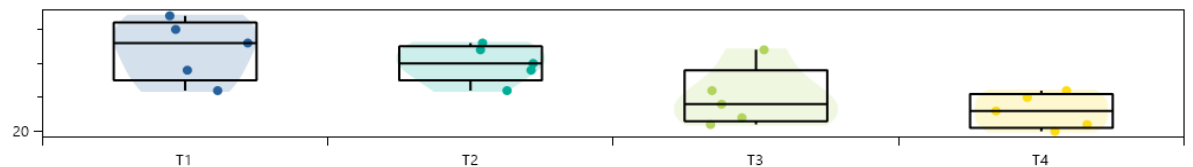
TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	5,18
Risque alpha :	0,159
Conclusion :	Non significatif



TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	1,8
Risque alpha :	0,195
Conclusion :	Non significatif

Annexe 25: pH

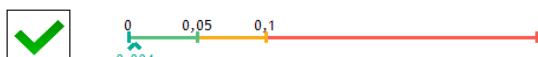
	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	32	30	25	23
Médiane	33	30	24	23
Ecart type	4,472	2,739	4,359	2,55



Boite à Moust. Points IC Moy IC Med

Pas de valeur aberrante

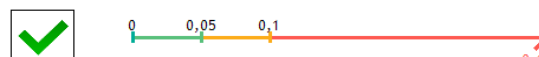
Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R ²
Facteur	3	265	88,333	6,67	0,0039506	0,55556
Résidus	16	212	13,25			
Total	19	477	25,105	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart très significatif

Tests de comparaison de dispersion



TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	1,84
Risque alpha :	0,605
Conclusion :	Non significatif

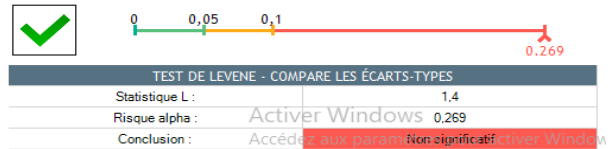
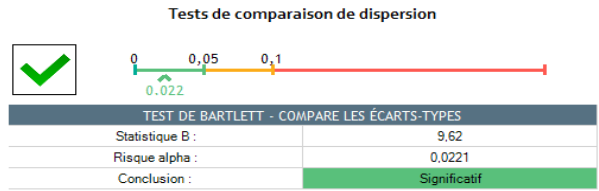
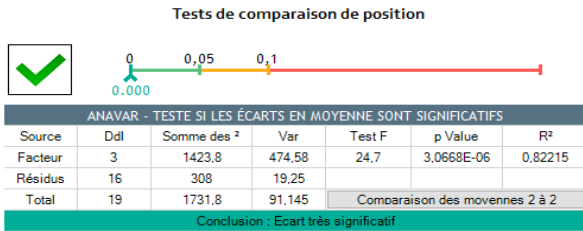
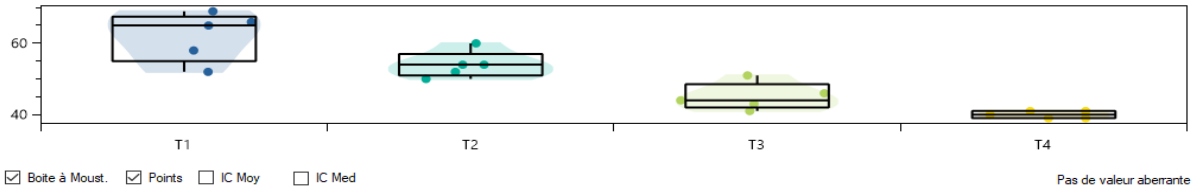


TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	0,51
Risque alpha :	0,68
Conclusion :	Non significatif

Annexe 26: Teneur en humidité

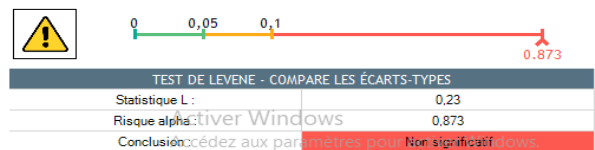
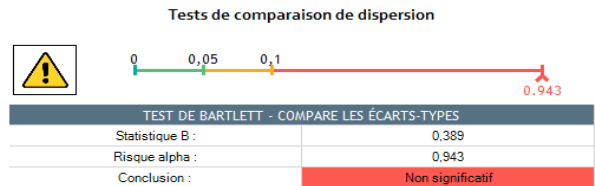
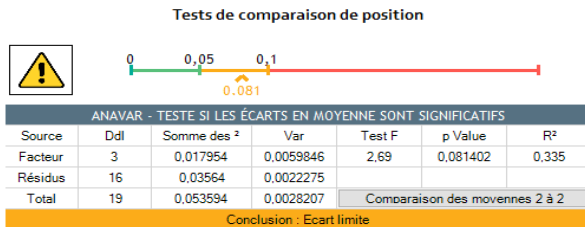
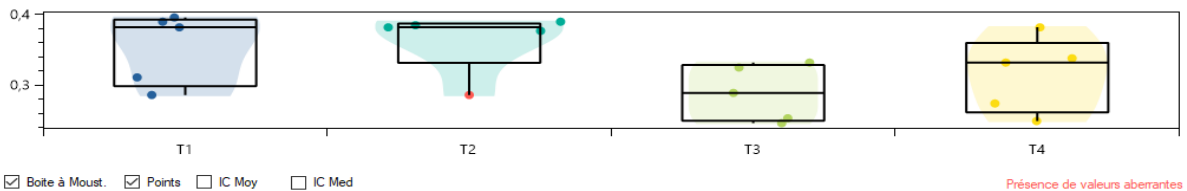
Annexes

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	62	54	45	40
Médiane	65	54	44	40
Ecart type	6,892	3,742	3,808	1



Annexe 26: Porosité totale

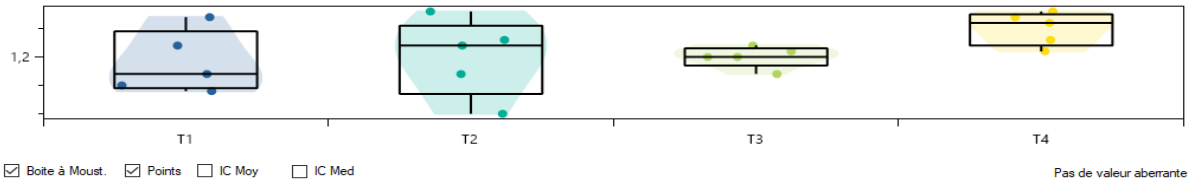
	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	0,353	0,364	0,289	0,315
Médiane	0,382	0,382	0,289	0,332
Ecart type	0,05077	0,04386	0,03965	0,05325



Annexe 27: EC

Annexes

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	1,19	1,2	1,2	1,25
Médiane	1,17	1,22	1,2	1,26
Ecart type	0,05431	0,06819	0,01871	0,02915



Boite à Moust.
 Points
 IC Moy
 IC Med
 Pas de valeur aberrante

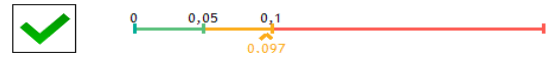
Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R²
Facteur	3	0,011	0,0036667	1,67	0,21404	0,2381
Résidus	16	0,0352	0,0022			
Total	19	0,0462	0,0024316	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart non significatif

Tests de comparaison de dispersion



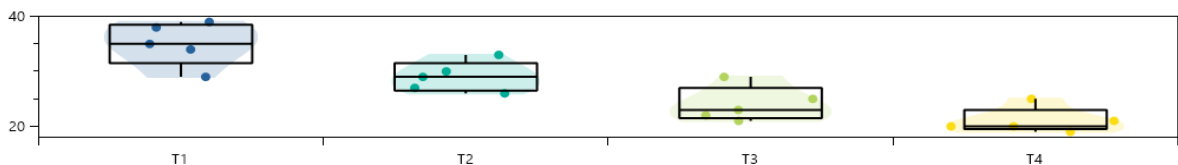
TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	6,33
Risque alpha :	0,0966
Conclusion :	Limite



TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	1,3
Risque alpha :	0,318
Conclusion :	Non significatif

Annexe 28: La densité apparente

	T1	T2	T3	T4
Nb	5	5	5	5
Moyenne	35	29	24	21
Médiane	35	29	23	20
Ecart type	3,937	2,739	3,162	2,345



Boite à Moust.
 Points
 IC Moy
 IC Med
 Pas de valeur aberrante

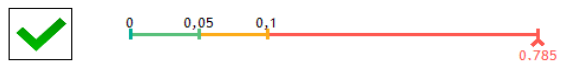
Tests de comparaison de position



ANAVAR - TESTE SI LES ÉCARTS EN MOYENNE SONT SIGNIFICATIFS						
Source	Ddl	Somme des ²	Var	Test F	p Value	R²
Facteur	3	563,75	187,92	19,5	1,3488E-05	0,78544
Résidus	16	154	9,625			
Total	19	717,75	37,776	Comparaison des moyennes 2 à 2		

Conclusion : Ecart très significatif

Tests de comparaison de dispersion



TEST DE BARTLETT - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique B :	1,07
Risque alpha :	0,785
Conclusion :	Non significatif



TEST DE LEVENE - COMPARE LES ÉCARTS-TYPES	
Statistique L :	0,38
Risque alpha :	0,771
Conclusion :	Non significatif

Annexe 29: Taux de drainage

Annexes

Résumé

Le recyclage des sous produits agricoles (SPA) est devenu, actuellement, indispensable, à cause de son intérêt environnemental et économique. A cet effet, les fibres du palmier dattier (FP) offrent un réel intérêt, quant à son utilisation comme substrat horticole (SH). Les PF sont économiquement rentables et ont une meilleure de capacité d'absorption d'eau. Les SA renforcés par les FP constituent, donc, un nouveau challenge. Dans une étude préliminaire, un premier travail a été réalisé en collaboration avec l'équipe de recherche du laboratoire de Tiaret. Il s'agissait d'une étude réalisée sur une plante annuelle le concombre (*Cucumis sativus*). Une première partie a été réalisée au laboratoire. Les paramètres physico chimiques de six substrats composés de FP et de terre végétale (TV) à des proportions [FP-TV] : T (100-0), T (90-10), T (80-20), T (70-30), T (60-40) représentant respectivement T1, T2, T3, T4, T5 et le témoin TM représentait la tourbe importée. Les T3, T4 et T5 ont donné les meilleures propriétés physico chimiques. En pépinière, les mêmes substrats T1, T2 T3 ont également donné les meilleures paramètres du développement des plants. En serre expérimentales, ces mêmes SH ont donné une production en fruits supérieure à 40% par rapport au TM. Ces mêmes SH, en ajoutant la boue d'épuration, ont été utilisés pour l'élevage de plants en pépinière du caroubier (*Ceratonia siliqua*) cultivé hors sol. Sur cette plante les meilleures propriétés ont été obtenues par T1 (80-20). Il s'agissaient de la porosité totale (PT) de 62%, la teneur d'humidité (TH) de 32 %, la densité apparente (DA) de 1.25 g/cm³, le taux de drainage (TD) de 35%. Quant au pH, il a varié entre 7.44 à 7.58 pour l'ensemble des traitements. L'électro-conductivité (EC) a varié entre 0.353, 0.364, 0.289 et 0.385 mS/cm pour tous les traitements. Le compostage a été évalué en fonction de son évolution caractérisé par le pH, l'EC et la concentration d'O₂. Ces paramètres ont évolué dans le sens de la stabilité du compostage. Tous les paramètres de croissance ont également été obtenus par T1 (80-20) et le T2 (70-30).

Mots clés : fibres palmier dattier,, substrat horticole, boue d'épuration, *Cucumis sativus*, *Ceratonia siliqua*.

Abstract

The recycling of agricultural by-products (SPA), has now become essential, due to its environmental and economic interest. For this purpose, the fibers of the date palm (FP), offer a real interest, for its use as horticultural substrate (SH). FPs are cost-effective and have a better water absorption capacity. Therefore, the SAs reinforced by the FPs constitute a new challenge. In a preliminary study, initial work was carried out in collaboration with the research team at the Tiaret laboratory, representing a study on an annual plant, the cucumber (*Cucumis sativus*). Part one was done in the laboratory. The physicochemical parameters of six substrates composed of FP and topsoil (TV) at [FP-TV] proportions: T(100-0), T(90-10), T(80-20), T(70-30), T(60-40) representing respectively T1, T2, T3, T4, T5 and the control TM representing imported peat. T3, T4 and T5 gave the best physicochemical properties. In the nursery, the same T1, T2 and T3 substrates also gave the best parameters of seedling development. In experimental greenhouses, these same HSs with using sewage sludge produced 40% more fruit compared to TM. The same SH were used for the nursery rearing of carob (*Ceratonia siliqua*) seedlings grown above ground. On this plant the best properties were obtained by T1 (80-20). These were total porosity (PT) of 62%, moisture content (TH) of 32%, apparent density (DA) of 1.25 g/cm³, and flow rate (TD) of 35%. As for the pH, it ranged from 7.44 to 7.58 for all treatments. Electroconductivity (EC) varied between 0.353, 0.364, 0.289 and 0.385 mS/cm for all treatments. Composting was assessed on the basis of its evolution characterized by pH, EC and O₂ concentration. These parameters have evolved towards the composting stability. All growth parameters were also obtained by T1 (80-20) and T2 (70-30).

Key words: date palm fibres, sewage sludge, horticultural substrate, development, *Cucumis sativus*, *Ceratonia siliqua*.