

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة البليدة 1
Université Blida 1



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biologie et Physiologie Cellulaire

Mémoire

*Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master 2 en :
Écosystèmes aquatiques*

Thème

**Valorisation agricole des boues d'une station d'épuration
des eaux usées et d'un bassin d'aquaculture : Étude
comparative**

Soutenu par :

M^{elle} DILMI NORA

et

Mme. TSAGADIRTS ZINEB

Devant le Jury :

Mme. Hamaidi F

Professeur

U.S.D. Blida1

Présidente

Mme. Mohammed Mahmoud F

MCB

U.S.D. Blida1

Examinatrice

Mme Belmeskine H

MCA

U.S.D. Blida1

Promotrice

Le 12 /09 /2019

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions le bon Dieu tout puissant qui nous a donnée la force et la volonté d'achever cette réalisation.

*Nous tenons à remercier sincèrement, **Dr. BELMESKINE Hayet, Maître de conférences A** à l'université Blida 1, pour avoir accepté d'être notre promotrice. Elle s'est toujours montré a l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce travail, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.*

*Nos remerciements vont aussi à **Mme HAMAIDI, Professeur** à l'université Blida 1, pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire.*

*Nos remerciements s'adressent également à **Mme MOHAMED MAHMOUD, Maître de conférences B** à l'université Blida 1, pour l'honneur qu'elle nous fait en acceptant d'examiner ce mémoire.*

*On tient à remercier très sincèrement **Dr. LETTELOUT Hamza** responsable du laboratoire d'hygiène de la wilaya de Tipaza de m'avoir accepté au sein du laboratoire et pour son soutien.*

*On tient à exprimer nos sincères remerciements au **Dr. MERZOUGUI Hana** qui a bien voulu accueillir avec sa bienveillante compréhension, ses conseils scientifiques et orientation Surtout dans le domaine de bactériologie ainsi que pour le soutien matériel.*

Merci pour tous ceux qui nous ont soutenues de prés ou de loin avec leurs conseils, leurs encouragements ou leurs sympathies et pour que ce modeste travail puisse être achevé.

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail qui est le fruit de plusieurs années d'étude à :

Ma mère et mon père :

« Qui ont sacrifié de tout cher pour que je puisse poursuivre mes études ».

Mes frères et mes sœurs :

« Pour leur soutien et leur aide permanents »

Mes amies :

BOUKARA Ahlem, ELFKIR Lina, TIMMARIA Meriem.

A tous les membres de la famille DILMI et LOUMAIZIA chacun en son nom

A toutes les personnes que j'aime et qui m'aiment.

NORA

Dédicace

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance, c'est tout simplement que ; Je dédie ce modeste travail :

*A ma tendre mère **TSAGADIRTS Fatima zohra** et mon cher père **Ibrahim**, Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être, Merci mille fois.*

*A mon cher mari **ABDERRAHMANE Ryadh**, Aucun mot ne saurait t'exprimer mon profond attachement et ma reconnaissance pour l'amour , la gentillesse, tes sacrifices, et ton soutien moral et matériel qui m'ont permis de réussir mes études.*

*A mon petit prince **Oussama**, Je t'aime énormément, Je te souhaite une longue vie pleine de bonheur et de réussite. le bon dieu te garde pour moi.*

*A mon frère **Abdellah** et ma sœur **Marwa**.*

A toute ma famille et surtout mes grands-père et mes grandes-mère.

*A ma belle-famille, particulièrement ma belle-mère **BEN DJABOU Fatima zohra** et mon cher beau-père **Abdelkader**.*

*A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études, particulièrement **Mme Belmeskine**, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant notre préparation de ce mémoire.*

*A ma chère amie avant d'être mon binôme **Noura**, merci pour ton soutien et ta patience toute une année.*

*A mes chères amies : **Hafsa, Mahdia, Fella, Samira, Mounia, Meriem, Ahlem, Sarra, Naila et Loubna**.*

Zineb



Merci 



Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition en éléments utiles des boues.

Tableau 2 : Fiche d'identité du ver de terre *Eiseinia fetida*.

Tableau 3 : Besoins du haricot en température selon les stades de développement (Chaux et Foury, 1994).

Tableau 4 : Production du haricot vert en Algérie 2010- 2012 (ANONYME, 2016).

Tableau 5 : Résultats d'analyse bactériologique des boues de STEP et Aquacoles

Tableau 6 : Résultats de l'identification des germes pathogènes

Tableau 7 : Résultats des tests d'identification de *bactérie staphylocoque*

Tableau 8 : Les résultats de l'identification biochimique par l'API Staph des germes isolés.

Tableau 9 : Analyse physicochimique des boues

A	Boues d'aquaculture
AC	Boues d'aquaculture compostées
ADH	Hormone antidiurétique
ASR	Anaérobie sulfito-réducteur
BGN	Les Bactéries à Gram négatif
BPCL	Bouillon Bromochresol Pourpre Lactose
C	Carbone
C/N	Rapport Carbone/ azote
Ca	Calcium
CEN	Comité Européen de Normalisation
CH ₄	Méthane
CO	Monoxyde de carbone
CRE	La capacité de rétention de l'eau
D/C	Double Concentration
DBO	La demande biologique en oxygène.
DCO	La demande chimique en oxygène.
EPA	eau peptonée alcaline
Ex	Exemple
FAO	Food and Agriculture Organisation
Fe ²⁺	Ion de fer
FeS	Sulfure Ferreux
GNAB	Gélose Nutritive Alcaline Biliée
H ₂ O	L'eau.
H ₂ O ₂	Peroxyde d'hydrogène
H ₂ S	Sulfure d'Hydrogène
INRAA	L'Institut national de la recherche agronomique d'Algérie
ITAF	Institut Technique De L'arboriculture Fruitière

ITCMI	L'Institut Technique de Cultures Maraichères et Industrielles
K	Potassium
K ₂ O	Oxyde de potassium
Mg	Magnésium
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
MVS	Matière Volatile Sèche
N	Azote
NO ₂	Le dioxyde d'azote
NPP	Le Nombre le Plus Probable
O ₂	Dioxygène
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement économique
ONA	Office Nationale de l'Assainissement
P	Phosphore
P	Poids
P ₂ O ₅	Pentoxyde de phosphore
PH	Potentiel d'hydrogène
PNPG	p-Nitrophényl- α -D-galactoside
S	Boues de STEP
S/C	Simple Concentration
SC	Boues de STEP compostées
SFB	Selenite F Broth
SO	Monoxyde de soufre
SS	Salmonella-Shigella
STEP	Station d'épuration.
T	Témoin
TGEA	Tryptone Glucose Extract Agar

UV Ultra-violet

VF Viande Foie

Liste des figures

Figure 1 : Utilisation de vers en lombricompostage.

Figure 2 : Répartition écologique des vers de terre (OPVTOSUR/Univ.Rennes).

Figure 3 : Classification taxonomique du haricot commun (Daniel *et al.*, 1987) .

Figure 4 : Les vers de terre *Eisenia fetida*.

Figure 5 : Grains de la variété DJADIDA

Figure 6 : étapes de préparation des vers de terre pour la stabilisation de boues.

Figure 7 : Développement du haricot (a : pré-germination b : levée)

Figure 8 : *Plantes Phaseolus vulgaris L.* mesure la partie aérienne et souterraine

Figure 9 : la pesé de la plante fraîche

Figure 10 : Mesure de la conductivité

Figure 11 : La calcination dans un four à moufle à T= 552°C

Figure 12 : Variation du poids (A) et le pourcentage de croissance (B) des vers de terre dans les différentes boues non compostées (t=0jour) et compostées (t=21jours).

Figure 13 : Variation de la taille (A) et du pourcentage de croissance par rapport à la taille (B) des vers de terre dans les différentes boues non compostées (t=0jour) et compostées (t=21jours).

Figure 14 : Variation de la hauteur des plantes dans les différents traitements de sol.

Figure 15 : Variation du poids frais des plantes dans les différents traitements de sol.

Figure 16 : Variation du nombre de feuilles des plantes dans les différents traitements de sol

Figure 17 : Variation du poids des feuilles des plantes dans les différents traitements de sol

Figure 18 : Variation de la longueur des racines dans les différents traitements de sol.

Figure 19 : absorbance de chlorophylle dans différentes type traitement

Figure 21 : Station d'épuration de CHENOUA (Google Earth, 2017).

Figure 22 : La ferme d'élevage de poisson d'eau douce de Harreza. (google earth 2019).

Figure 23 : les germes revivifiables

Figure 24 : les coliformes totaux (a : boue de la STEP composté ; b : boues d'aquaculture composté ; c : boue de la STEP ; d : boue d'aquaculture).

Figure 25 : les coliformes fécaux (a : de la STEP et d'aquaculture composté ;

b : de la STEP et les boues d'aquacultures)

Figure 26 : Les streptocoques (a : les streptocoques totaux ; b : les streptocoques fécaux)

Figure 27 : Les sulfito-réducteurs (a : les boues composté d'aquaculture et de la STEP ; b : les boues d'aquaculture et les boues de la STEP).

Figure 28 : les staphylocoques dans les boues de la STEP

Figure 29 : imprimé de logiciel API STAPH

Résumé

Ce travail porte sur une étude comparative pour une valorisation agricole des boues résiduelles de la station d'épuration des eaux usées urbaines de Chenoua, et les boues d'aquaculture (BA) de Hariza.

Pour ce faire, nous nous sommes intéressés en premier lieu au biotraitement des boues avant leur utilisation, via un vermicompostage avec les vers de terre *Eisenia fetida*, où nous avons étudié l'adaptation des vers en suivant le développement de leur poids et taille durant 21 jours de compostage. Par la suite, le compost obtenu était utilisé comme amendement pour la culture de haricot dont nous avons évalué certains paramètres agronomiques de croissance, tels que ; la taille et le poids frais de la plante, le nombre et poids frais des feuilles et la chlorophylle *a* des feuilles. En parallèle, des analyses physico-chimiques et bactériologiques des boues ont été effectuées afin d'évaluer l'efficacité du vermicompostage.

Les résultats obtenus révèlent une augmentation significative du pourcentage de croissance (poids et taille) des vers de terre lors du compostage des boues ; soit plus de 60% dans les boues de STEP compostées que dans les BA compostées. Par ailleurs, nous avons noté que l'apport des boues a influencé la croissance et le rendement des plants cultivés qui enregistrent un bon développement et un bon rendement par rapport à ceux cultivés dans le sol non amendé (témoin).

Concernant les analyses physico-chimiques des boues, les résultats ont montré une stabilisation et une amélioration après le vermicompostage, d'où une neutralisation du pH a été observée. De même, l'analyse bactériologique a révélé un abattement pour une majorité de germes totaux et quelques germes pathogènes qu'on a pu déterminer lors de notre étude.

Dans l'ensemble, en comparaison entre les boues de STEP et BA, les meilleurs rendements ont été obtenus dans les sols ayant reçu un épandage de boues de STEP vermicompostées.

Mots clés : Boues de STEP, boues d'aquaculture, analyse physico-chimique, analyse microbiologique, valorisation agricole, *Phaseolus vulgaris L.*, *Eisenia fetida*.

INTRODUCTION

La station d'épuration est une machine épuratrice des eaux usées et productive d'un résidu bio-solide appelé « Boue ». La présence potentielle de micropolluants, réglementés ou non, dans les boues des stations d'épuration urbaines présente un impact sur l'environnement (*UGHETTO, 2012*).

En Algérie, la quantité des boues produites annuellement reste malheureusement méconnue, mais, le volume global d'eaux usées rejetées annuellement est évalué par l'Office National d'Assainissement à près de 600 millions de m³. Plusieurs filières existent pour l'élimination des boues d'épuration; la mise en décharge s'avère une technique peu valorisante et est légalement interdite dans de nombreux pays. L'incinération a un coût exagéré et présente un risque lié à l'impact de gaz toxiques sur l'environnement. Le recyclage ou valorisation agricole constitue un mode de gestion plus rationnel et contribue à une réintégration des éléments minéraux et organiques dans les sols, ce qui permet de se rapprocher des cycles naturels (*Alvarenga et al., 2015*)

La valorisation agronomique des boues d'épuration constitue une alternative qui permet à l'agriculture de rendre service à la collectivité. En même temps elle tire profit de ces produits organiques en améliorant la fertilité des sols cultivés. En effet, il est généralement admis que les boues d'épuration améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (*Benterrouche, 2007; Amadou, 2007; Bahri et Annabi, 2011*).

L'aquaculture intensive est considérée comme une source de pollution, dont les formes sont variées : pollutions organique, chimique, bactériologique, etc. Les flux polluants peuvent être importants localement et géographiquement. Cependant, les sédiments du bassin sont enrichis en matières organiques, azote, phosphore, et des macros et micronutriments aussi, il peut s'agir d'un supplément d'engrais et d'un engrais potentiel pour le sol, qui pourrait améliorer l'environnement du sol pour les cultures. L'utilisation des sédiments à des fins agricoles peut réduire les intrants d'engrais, augmentant ainsi les avantages économiques tout en réduisant les effets négatifs sur l'environnement (*Kouba et al., 2018*).

INTRODUCTION

Toutefois, la présence de certains polluants dans les boues peut limiter leur utilisation en agriculture et constitue un défi pour la protection de l'environnement. Le vermicompostage, processus biologique dans lequel des vers de terre sont utilisés pour accélérer la dégradation des déchets organiques, peut être appliqué. Des travaux ont montré que les vers peuvent accumuler certains métaux et substances et modifier leur biodisponibilité dans le compost (Suleiman, 2014, Kouba *et al.*, 2018 ; Huang et Xia, 2018).

Dans ce contexte et dans le cadre du développement durable, nous nous sommes proposés de contribuer à la valorisation agricole des boues résiduelles de la STEP de Chenoua et des boues (ou sédiments) des bassins d'aquaculture de poissons d'eau douce de Hariza, après un biotraitement qui est le vermicompostage. L'épandage de boues traitées et non traitées est appliqué sur une culture d'haricots *Phaseolus vulgaris*.L. Ainsi des paramètres agronomiques de croissance du haricot sont évalués pour les deux cas en vue d'une étude comparative.

Par ailleurs, la performance du vermicompostage, autrement dit ; l'impact des vers de terre sur l'hygiénisation des boues, est évalué en faisant une étude comparative entre les résultats des analyses bactériologiques des boues avant et après compostage.

Le présent travail comporte trois chapitres organisés comme suit :

- Le premier chapitre est consacré à la revue bibliographique qui résume l'essentiel d'informations sur les boues résiduelles des stations d'épuration, les boues d'aquaculture, les vers de terre *Eisenia fetida*, ainsi que sur les haricots *Phaseolus vulgaris* L.,

- Le deuxième chapitre est réservé à la présentation du matériel et méthodes,
- Le troisième chapitre synthétise les résultats et la discussion de ces derniers, suivi par une conclusion et quelques perspectives de travail.

INTRODUCTION

I.1. Les boues

Les boues sont définies par le Comité Européen de Normalisation (CEN) comme « *un mélange d'eau et de matières solides, séparées par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui le contiennent* ». Les boues sont généralement issues du traitement des eaux usées domestiques ou industrielles (Albrecht, 2007).

I.1.1. les boues résiduaires des stations d'épuration des eaux usées (STEP)

Les boues de station d'épuration sont issues du traitement des eaux usées domestiques ou industrielles. Les eaux usées sont recueillies par les égouts et dirigées vers les stations d'épuration afin d'être purifiées avant leur réintroduction dans le milieu naturel. Leur traitement permet d'éliminer, d'une part, la partie la plus facilement dégradable de la matière organique et, d'autre part, les différents composés dont les eaux sont chargées (débris alimentaires, graisses, fibres textiles et cellulosiques, savons, lessives et détergents) avant leur réintroduction dans le cycle de l'eau.

I.1.1.1. La composition des boues des STEPs

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et du conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Ararem, 2011). En général, trois sortes d'éléments sont présentes dans les boues :

- ***Les éléments utiles*** : La valorisation des boues en agriculture est intéressante, tant par les quantités de matière organique qu'elles contiennent que par la présence en quantité appréciable d'éléments fertilisants (**tableau 1**).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau 1: Composition en éléments utiles des boues

Type de boue les éléments utiles	Boues compostées	Boues liquides	Boues pâteuses	Boues sèches	Boues chaulées
Teneur en matières sèches MS	40-60	2-à 6	18-22	90-95	25-40
Teneur en matière organiques %MS	80-90	65-70	65-70	50-70	30-40
Teneur en matières minérales% MS	10-20	30-35	30-50	30-50	60-70
pH	6-7	6,5-7	7-8	6-8	9-12
Rapport Carbone / azote(C / N)	15-25	4-5	5-6	4-6	8-11
Azote (Kg N/T brute)	5-9	2-4	8-12	30-50	6-10
Phosphore(kg P₂O₅/T brute)	6-8	2-3	6-9	50-70	6-10
Potassium (kg K₂O/T brute)	1-2	0,9	0.8	5	1
Chaux(Kg CaO/T brute)	10-30	1-3	5-15	40-60	60-90

- Eléments fertilisants : Selon la dose appliquée, les boues peuvent couvrir les besoins des cultures en azote, en phosphore, en magnésium, calcium et en soufre ou peuvent aussi corriger les carences à l'exception de celle en potassium (**Su et al., 2004 ; Warman et al., 2005**). Les boues contiennent des quantités appréciables d'éléments fertilisants soient ; l'azote de 4 à 6 % MS, le phosphore de 3 à 8 % de MS, calcium de 4 à 7 % de MS, le potassium et magnésium à très faibles teneurs (0.5 à 1.5 % de MS).
- Matière organique : La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. Elle est constituée de matières particulières éliminées par gravité dans les boues primaires, de lipides (6 à 19 % de la matière organique), de polysaccharides, de protéines et des acides aminés (jusqu'à 33% de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens.
- Les éléments indésirables (contaminants chimiques inorganiques et organiques) : L'essentiel des contaminations chimiques (Ex. : cuivre, zinc, chrome, nickel, cadmium et plomb) vient des rejets industriels et dans une moindre mesure des rejets domestiques (Ex. : solvants). 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

- **Les micro-organismes pathogènes** : Les boues d'épuration contiennent des micro-organismes vivants en provenance des eaux usées et des processus de traitement et qui jouent un rôle essentiel dans les procédés d'épuration. Seule, une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, champignons, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux.

I.1.1.2. Les différentes filières de traitement des boues

Les boues résiduaire se présentent sous une forme liquide et avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Ces deux caractéristiques sont gênantes et posent beaucoup de problèmes techniques pour leur évacuation, parmi lesquels leur transport et leur stockage qui conduisent souvent à des problèmes de manipulation et des nuisances olfactives. Généralement, le traitement des boues a deux objectifs :

La stabilisation pour empêcher ou réduire les problèmes de fermentation et d'éviter ainsi les nuisances olfactives. La stabilisation peut être biologique par voie aérobie (compostage) ou anaérobie (méthanisation) ou chimique (chaulage ou autres traitements) (**Office International de l'Eau, 2001**). La stabilisation biologique présente l'avantage de limiter l'évolution ultérieure de la composition des boues.

La déshydratation et la concentration des boues qui a pour objectif de réduire leur volume (plus de 97 % d'eau) par épaissement et/ou par déshydratation pour faciliter par la suite leur transport et leur stockage. Un conditionnement est souvent utilisé en amont pour favoriser la séparation liquide-solide à l'aide de flocculants organiques de synthèse ou minéraux, et autoclavage. Selon la puissance du procédé de séchage utilisé, épaissement, déshydratation ou séchage thermique, on obtient des boues à différents pourcentages de siccité : Boues liquides (4 à 10 %), boues pâteuses (10 à 25), boues solides (25 à 50 %), boues granulées ou en poudre pour une siccité supérieure à 85 % (**ADEME, 1996**).

a- La mise en décharge contrôlée

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec les ordures ménagères) (**El-Fadel et Khoury, 2000 ; Allen, 2001**). Ces boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70 %). Cette solution a perdu progressivement de son intérêt et se retrouve actuellement interdite pour des problèmes environnementaux tels que les odeurs nauséabondes, pullulation de moustiques,

Chapitre I : Synthèse bibliographique

entraînement d'éléments fertilisants (nitrates, phosphates) et de produits toxiques par les eaux superficielles et contamination des nappes d'eaux souterraines (**Marttinen et al., 2003**).

b- L'incinération

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500 °C) produisant des fumées et des matières minérales résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel (**Prevot, 2000**). Cependant, malgré l'intérêt de ce procédé pour une réduction importante des volumes de déchets, il présente des contraintes principalement liées à un investissement très coûteux. Cette technique reste aussi néfaste de point de vue écologique et environnementale puisqu'elle contribue en plus du gaspillage de matières organiques utiles pour le sol à la diffusion de gaz très toxiques (NO, NO₂, CO, SO, dioxine, etc) (**Mininni et al. 2004 ; Nammari et al., 2004**).

I.1.1.3. Utilisation agricole des boues

La valorisation agricole des boues résiduaires peut être considérée comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles biogéochimique (C, N, P...), pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges (**Lambkin et al., 2004**). Les boues résiduaires peuvent ainsi remplacer ou réduire l'utilisation excessive d'engrais coûteux.

➤ *Epandage direct des boues résiduaires*

L'épandage de boues ne peut être pratiqué que si celles-ci respectent le principe "d'intérêt agronomique" et soient exemptes de grandes teneurs en polluants inorganiques ou organiques. Cependant, des problèmes et des obstacles économiques ou techniques à l'application des règles d'épandage surgissent, ceux-ci comprennent les possibilités de stockage et de transport, l'insuffisance ou l'inadéquation des techniques de stabilisation et de déshydratation. D'autre part, du point de vue hygiénisation, la capacité d'épuration des sols est limitée dans certaines conditions. Ainsi, l'utilisation des boues sans hygiénisation préalable constitue en quelque sorte un retour à la pratique ancestrale de l'épandage des eaux usées brutes (**Bengtsson et al., 2004**).

➤ Utilisation des boues traitées

La réduction du pouvoir fermentescible des boues et leur hygiénisation des germes pathogènes dépend des performances des procédés de stabilisation.

Les techniques de stabilisation chimique par chaulage ou autres telles que le traitement aux nitrites à pH acide, sont efficaces mais consommateurs de produits chimiques.

Les procédés de stabilisation biologique sont des techniques qui exploitent certaines activités microbiennes en les stimulant de manière contrôlée afin de réduire les nuisances potentielles des déchets (odeurs, caractère polluant au sens large du terme) et de les valoriser sous forme énergétique ou sous forme de matériau. La méthanisation ou digestion anaérobie poursuit le double objectif de valorisation énergétique par récupération de méthane (CH₄) et de stabilisation des déchets organiques.

Le compostage permet de poursuivre plusieurs objectifs en même temps ; i) stabilisation du déchet pour réduire les pollutions ou nuisances associées à son évolution biologique, ii) diminution du volume des boues due à la dégradation des composés organiques et au séchage induit par la nature exothermique du procédé et production en fin d'un compost riche en substances humiques valorisable comme amendement organique des sols (**Semple et al., 2001**)

I.1.2. les boues résiduelles de l'aquaculture

L'aquaculture est l'élevage d'organismes aquatiques, poissons, mollusques, crustacés et plantes aquatiques incluses. Ceci implique des formes d'intervention dans le procédé d'élevage afin d'améliorer la production, comme l'empoissonnement, l'alimentation, la protection vis-à-vis des prédateurs, l'entretien des sites et étangs, etc.

L'étang est défini comme une masse d'eau artificiellement stagnante, plus ou moins complètement vidangeables à une fréquence variable et destinée à l'élevage des poissons.

C'est donc un écosystème étroitement conditionné par l'homme qui le modifie constamment afin d'en tirer le meilleur profit, exprimé par la production piscicole (**Billard, 1980**).

I.1.2.1. L'agriculture et les sédiments d'aquaculture

Les sédiments des étangs à poissons constituent une ressource importante enrichie en nutriments végétaux et en MO. La matière biologique joue un rôle vital dans le maintien de l'amélioration de la qualité des sols. La qualité c'est le facteur clé qui détermine le degré de rétention de nutriment dans le sol.

Les sédiments des étangs sont riches en N, P et K et d'autres macro et micronutriments. Si les besoins en éléments nutritifs d'une culture et l'élément nutritif disponible dans les sédiments des étangs sont connus, les sédiments utilisés peuvent être traités avec succès pour les fournir en même temps que les engrais inorganiques.

Les cultures utilisent les nutriments dans les sédiments, ce qui réduit les possibilités d'émissions de la pollution de l'environnement. Ainsi, les sédiments peuvent être utilisés pour une intégration réussite entre l'aquaculture et l'agriculture (**Kouba *et al.*, 2018**).

I.1.2.2. Déchets des bassins d'aquaculture

Pour les piscicultures, les déchets sont généralement définis comme les déchets métaboliques ou les restes de nourriture provenant d'une exploitation normale. Les types de déchets qu'une exploitation pourrait générer sont les suivants :

- Les déchets biologiques, y compris les poissons et les œufs morts, les déchets de frai, etc.
- Les déchets dangereux, y compris les produits pétroliers, les produits de nettoyage et les autres produits chimiques utilisés dans l'exploitation
- Les déchets solides provenant des réservoirs de boues, des bassins ou étangs de décantation, etc.

I.1.2.2.1. Déchets métaboliques

Les déchets métaboliques existent sous deux formes : dissoute et en particules. Afin de déterminer la quantité de déchets qu'une exploitation générera, la quantité et la digestibilité des aliments utilisés dans l'exploitation sont les facteurs les plus importants. Les taux d'alimentation ont tendance à augmenter avec la température, de sorte que la quantité de déchets est souvent plus grande pendant les mois d'été lorsque les taux d'alimentation sont les plus élevés. En plus de choisir des aliments extrudés à haute énergie avec une haute digestibilité pour assurer une meilleure assimilation, on rendra les efforts de gestion des déchets plus efficaces s'ils sont axés sur l'élimination rapide des solides (**Vallod & Sarrazin, 2010**).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

1.1.2.2. 2. Élimination des solides

On devrait effectuer le traitement primaire, soit l'élimination des déchets solides, aussi rapidement et doucement que possible, pour réduire la fragmentation des déchets qui provoque un lessivage accru des nutriments dans l'eau. Le débit d'eau dans les unités de production est important pour la gestion des déchets afin de réduire la fragmentation des excréments de poissons et permettre le tassement rapide et la concentration des matières décantables.

1.1.2.2. 3. Déchets dissous

Les déchets dissous constituent une autre composante des déchets métaboliques; ils sont souvent mesurés par la demande biologique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO). La DBO est censée être une mesure à long terme de la consommation d'oxygène, car elle ne peut se produire que longtemps après que l'eau s'est écoulée de la ferme piscicole. En revanche, la DCO est une mesure à court terme en raison de la perte d'oxygène qui se produit, en grande partie, à l'intérieur de la ferme. Les déchets dissous se produisent sous de nombreuses formes : l'ammoniac, le nitrite, le nitrate, le phosphore et la matière organique. L'ammoniac, qui est excrété par les branchies, est la forme la plus toxique de l'azote lorsque la forme n'est pas ionisée. Les bactéries qui existent dans la nature transforment l'ammoniac en formes moins toxiques dont se nourrissent les plantes et les algues. Le phosphore que contiennent l'alimentation et les matières fécales des poissons se décompose en phosphate (une forme plus utilisable). C'est durant le nettoyage des réservoirs ou étangs que des niveaux élevés de déchets peuvent être libérés. L'élimination fréquente des déchets solides permettra de réduire les déchets dissous dans les eaux de rejet (**Vallod & Sarrazin, 2010**).

1.1.2.2. 4. Déchets pathogènes

Les usines de traitement d'eau recourent souvent à la désinfection pour diminuer les bactéries coliformes et autres déchets pathogènes éventuels qui s'écoulent d'une exploitation. Les poissons ne produisent pas de bactéries coliformes; par conséquent, ils ne donnent pas lieu à de grandes préoccupations relatives à la contamination de l'eau. Les trois méthodes les plus courantes pour réduire les pathogènes de l'eau sont la chloration, le rayonnement ultraviolet et l'ozonation. Le rayonnement UV est une méthode de désinfection superficielle qui ne nuit pas à la vie aquatique en aval, mais puisque la lumière UV ne pénètre pas la

Chapitre I : Synthèse bibliographique

surface, on recommande la filtration des particules fines en amont du filtre UV. Le chlore et l'ozone sont efficaces, mais sont des oxydants puissants; il faut donc les surveiller régulièrement, car leur concentration excessive dans l'effluent peut causer la mort des poissons et dégrader le milieu récepteur; c'est un phénomène qu'on a déjà constaté dans le passé (Vallod & Sarrazin, 2010).

I.2. Le vermicompostage des boues

I.2.1. 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.* »

Le terme **vermicompostage** (ou lombricompostage) se réfère à l'utilisation de vers pour composter les résidus organiques (Figure 1). Les vers peuvent consommer pratiquement tous les types de matière organique et peuvent absorber l'équivalent de leur propre poids par jour. Les turricules (excréments) des vers sont riches en nitrates, et en formes disponibles de P, K, Ca et Mg. Le passage à travers les vers de terre favorise la croissance des bactéries et notamment des actinomycètes dont la teneur dans les déjections de vers de terre est six fois supérieure à celle du sol d'origine (**Albrecht, 2007**).



Figure 1 : Utilisation de vers en lombricompostage

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.2.2. Les vers de terre : caractères généraux

Les vers de terre sont des oligochètes de l'ordre des Lombricidés appartenant au groupe des Annélides clitellates. Appelés aussi coelomates, ils possèdent un coelome qui permet la séparation du tube digestif des autres parties du corps ce qui facilite son mouvement indépendamment du corps de l'animal. Le coelome confère ainsi de l'espace où les organes peuvent croître, et avec le fluide qu'il contient (le liquide coelomique), il construit un squelette hydrostatique permettant au ver de mieux se mouvoir et peut aussi servir à tamponner les variations de température et à amortir les chocs qui pourraient provoquer des blessures internes (**Rouse *et al.*, 2006**).

Les vers de terre, aussi appelés « lombriciens » représentent une composante majeure de la macrofaune du sol dans la plupart des écosystèmes terrestres (**Vigot et Cluzeau, 2014**),

L'identification des vers de terre montre qu'il y a plus de 3000 espèces dans le monde. Les vers de terre représentent environ 70% de la biomasse animale terrestre dans les zones tempérées. Ils jouent un rôle important dans leur environnement grâce à différents mécanismes physico-chimiques et biologiques, permettant d'améliorer la fertilité et de préserver la structure du sol (**Lavelle *et al.*, 1997**). Ainsi, en affectant les propriétés physiques et chimiques du sol, elles modifient le biotope des communautés microbiennes.

Ils ont un rôle important dans la chaîne alimentaire car ils sont une source d'alimentation pour les niveaux trophiques supérieurs.

I.2.3. Ecologie

Les vers de terre se répartissent en trois catégories selon leurs adaptations écologiques aux conditions du sol (fig.2) :

-Les épigés sont des vers pigmentés de petite taille (10 à 30 mm en général) et vivent généralement dans la litière de surface et se nourrissent des matières organiques en décomposition dans cette litière. L'espèce *Eisenia fetida* appartient à ce groupe (**Boucher, 1977 ; Lee, 1985**) (**tableau 2**).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

-**Les endogés** sont des vers dépigmentés, sans couleur ou très pâles, de taille variables (1 à 20 cm), vivant généralement dans les premiers centimètres de sol où ils construisent des galeries d'orientation quelconque (**Boucher, 1977**),

-**Les anéciques** sont de couleur brune, de taille moyenne à géante (10 à 110 cm), ce sont ceux qu'on appelle les « lombrics ». Ils creusent des galeries verticales profondes à subverticales plus ou moins ramifiées s'ouvrant en surface. Ils ont un mode de vie mixte, et se nourrissent de débris organiques prélevés en surface et qu'ils laissent pourrir dans le sol avant de les ingérer avec du sol (**Boucher, 1977**).

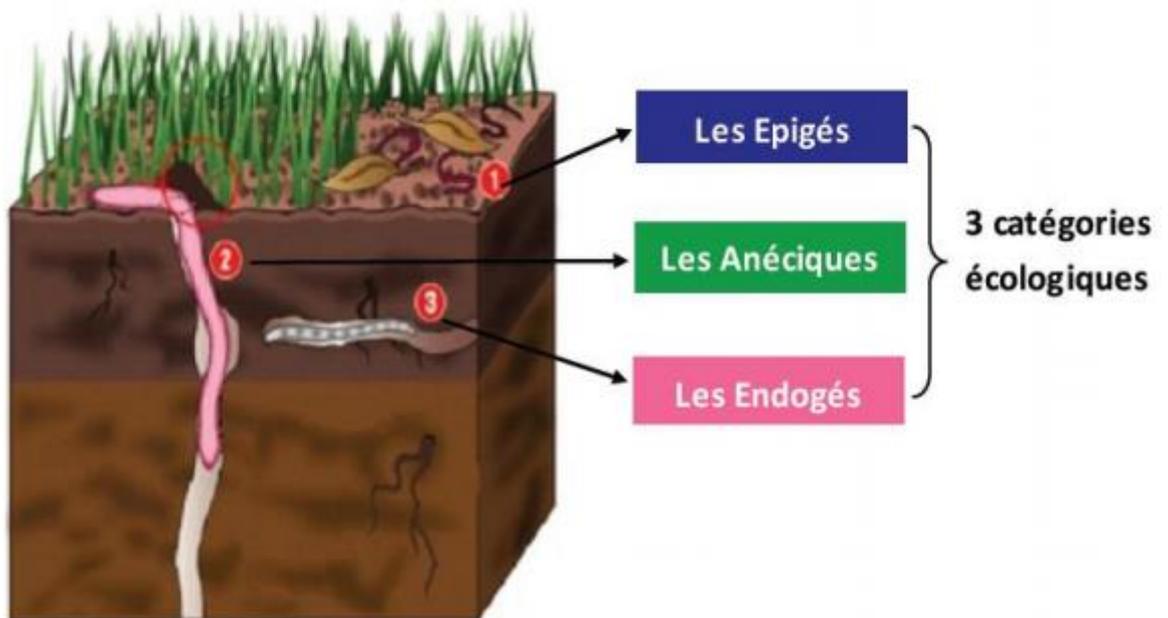


Figure 2 : Répartition écologique des vers de terre (OPVTOSUR/Univ.Rennes).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Tableau 2 : Fiche d'identité du ver de terre *Eiseinia foetida*

Espèce	<i>Eiseinia foetida</i>
Genre	<i>Eiseinia</i>
Nom commun	ver de fumier, ver de composteur, ver rouge
Catégorie	Epigé
Morphologie	Longueur (mm) : 35 à 130 Diamètre (mm) : 3 à 5 Forme du corps : cylindrique Clitellum : annulaire Description : Couleur pourpre, rouge, rouge foncé, rouge brunâtre. Il existe des vers unicolores et d'autres avec des bandes alternées de couleur rouge-brun sur le dos avec une pigmentation plus clair des zones inter segmentaires.
Biologie	Longévitité 4 à 5 ans, 1 à 2 ans le plus souvent
Maturité du cocon	3 semaines
Reproduction	sexuée, hermaphrodite
Fécondité	90 à 120 cocons par an, 4 à 8 vers par cocon environ.
Croissance	4 à 6 semaines
Habitat	<i>Eiseinia Foetida</i> vit en surface dans le composteur des déchets de cuisine, le fumier, etc. Il a peu tendance à s'enfoncer dans le sol minéral.

I.2.4. Comment les vers de terre fertilisent-ils le sol ?

Les vers de terre sont considérés comme des indicateurs d'un sol en bonne santé. En effet, ils jouent un rôle primordial dans la fertilité et la structure des sols (Lal, 2006):

- Ils assurent, avec certains microorganismes, le recyclage de la matière organique, qu'ils contribuent à décomposer, grâce à la digestion des débris végétaux, et à répartir dans le sol par leurs déplacements

- C'est d'ailleurs cette capacité des vers de terre à transformer les déchets végétaux en humus qui est utilisée en lombricompostage.

- Ils favorisent l'alimentation et la croissance des plantes, en recyclant la matière organique dont ils enrichissent le sol, mais aussi en facilitant le développement des racines des végétaux (terre ameublie, croissance racinaire plus aisée le long des galeries).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

- Ils améliorent la perméabilité et l'aération des sols : leurs galeries permettent une meilleure pénétration de l'eau de pluie ou d'arrosage et facilitent les déplacements gazeux.

- Ils modifient la structure granulaire et les caractéristiques physico-chimiques de la terre (formation de micro-agrégats plus stables, équilibration du pH...).

I.2.5. Le rôle écologique des vers de terre

Les vers de terre sont des éléments essentiels dans un écosystème (**Ruppert et Barnes, 1994**). Ils représentent de 60% à 80% de la biomasse animale du sol (**Rida, 1994**).

Le rôle écologique important des vers provient de leur comportement. Ils se nourrissent essentiellement de débris végétaux et de matière organique incorporée dans le sol et occasionnellement de matière organique vivante comme des champignons ou bactéries (**Scott-Fordsmand et Weeks, 2000**). Les lombrics favorisent aussi l'entrée d'eau, d'air et de racines en creusant d'importants réseaux de galeries, améliorant ainsi l'aération et le drainage du sol (**Efroymson et al., 1997**). L'activité de brassage des sols résultant du déplacement des vers et de leur quête de nourriture favorise également le transport et le mélange des différents composants du sol. Les vers créent ainsi un milieu favorable pour les micro-organismes décomposeurs comme certains champignons et bactéries, augmentant aussi la fertilité des sols. De plus, ils représentent une importante source de protéines pour de nombreux animaux, aussi bien vertébrés qu'invertébrés (**Rida, 1994; Efroymson et al., 1997**).

I.3. Le haricot *Phaseolus vulgaris* L.

I.3.1. Origine et historique

Le haricot commun *Phaseolus vulgaris* L. est une légumineuse alimentaire saisonnière. Il est originaire d'Amérique du sud et d'Amérique centrale, d'Andes du Pérou (type andin) et du Mexique (type méso-américain) (**Nyabyenda, 2005**). La culture du haricot est considérée comme une des plus anciennes ; des découvertes archéologiques réalisées dans son lieu d'origine et en Amérique du sud indiquent qu'elle était connue au moins 5000 ans avant Jésus Christ (**Daniel et al., 1987**). Le haricot a été introduit en Afrique par les portugais au XXème siècle.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.3.2. Taxonomie

De point de vue taxonomique, cette espèce est le prototype du genre *Phaseolus vulgaris* L. qui a été identifié par **Linné (1753)**. Elle appartient à la tribu des Phaseoleae, de la sous-famille des Papilionoideae, dans l'ordre des Rosales (Figure 3).

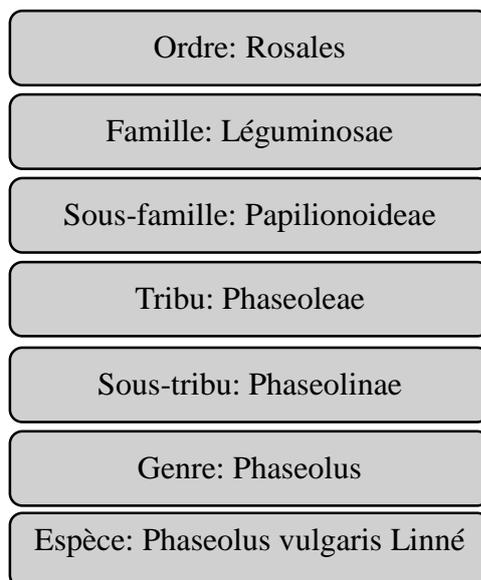


Figure 3 : Classification taxonomique du haricot commun (Daniel *et al.*, 1987) .

I.3.3. Botanique

Le Haricot commun, est une plante herbacée, annuelle, volubile, grimpante, dépourvue de vrilles, à feuilles alternes, et à fleurs disposées en grappe, le fruit est une grosse oblongue, bivalve, renfermant un grand nombre de graines réniformes et farineuses, qui offrent un met simple, agréable et nourrissant (**Bouillet et Hachette, 1860**). Le système racinaire du haricot commun est constitué de plusieurs ramifications latérales qui ne dépassent pas les 20 premières centimètres de profondeur.

La racine principale n'est pas longtemps dominante et sa croissance peut être facilement stoppée par les obstacles du sol (**Nyabyenda, 2005**). Les racines tertiaires apparaissent latéralement sur les racines secondaires et les quaternaires sur les tertiaires (**Daniel G et al., 1987**). En tant que membre des Papilionoideae, *Phaseolus vulgaris* L. possède des nodules répartis sur les racines latérales de la partie supérieure et moyenne du système racinaire.

Chapitre I : Synthèse bibliographique

Les feuilles du haricot sont de deux types : simples et composées. Les feuilles primaires sont simples ; elles apparaissent au deuxième nœud de la tige et se forment dans la graine pendant l'embryogenèse. Elles tombent avant que la plante soit complètement développée. Les feuilles composées trifoliolées sont les feuilles typiques du haricot (**Daniel G et al., 1987**).

Le fruit du haricot est une gousse d'une longueur de 4 à 25 cm à deux valves. Il mûrit 1 à 2 mois après la fécondation qui est autogame. Les gosses contiennent en général 4 à 10 graines (**Nyabyenda , 2005**) qui sont riches en protéines et en glucides (**Peron, 2004**).

I.3.4. Aspects nutritionnels des haricots communs :

Le haricot est un légume très polymorphe dans ses formes et ses utilisations. Il peut être considéré comme un légume vert ou un féculant, un produit vivier ou une plante industrielle de grande culture qui peut être destiné au marché de frais, au négoce ou à la conserverie (**Doré et Varoquaux, 2006**). *Phaseolus vulgaris L.* est le légume sec le plus couramment consommé dans l'alimentation humaine. Il constitue souvent une source majeure de supplément de protéines qui sont riche en lysine dans l'alimentation locale (21.96% de la matière sèche). La production mondiale de haricot sec est de 18.4 millions de tonnes, les principaux pays producteurs sont : le Brésil, l'Inde, la Chine, et le Mexique. La production mondiale de haricot vert s'élève à 6.3 millions de tonnes (**FAO, 2004**).

I.3.5. Contraintes agronomiques :

Les principales contraintes agronomiques de la culture du haricot sont la faible fertilité des sols, le déficit hydrique, les insectes ravageurs et les maladies (**Allen et Edje, 1990 ; Allen et al., 1989**). La résistance des plantes-hôtes est l'unique moyen pratique et efficace à la disposition de l'agriculteur Africain pour combattre ses contraintes agronomiques (**Allen et al., 1996**).

I.3.6. Exigence de la culture du haricot *Phaseolus vulgaris L*

I.3.6. 1. Exigences climatiques

➤ La température

D'après **Peron (2006)**, Les haricots verts sont cultivés en zone tempérée comme en zone tropicale. La température optimum pour sa culture est entre 20°C et 25°C. Le zéro végétatif est à 10°C et les fortes chaleurs sont néfastes à la fécondation des fleurs.

Le haricot est une plante de climat chaud, nécessitant donc des températures élevées. Sa germination n'est normale qu'au-dessus de 14 à 15°C (**Chaux, 1972**).

Les besoins en températures du haricot durant tout le cycle végétatif soient présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Besoins du haricot en température selon les stades de développement
(**Chaux et Foury, 1994**)

Stade de développement	Besoin en température (°C)
Germination	20 à 25
Croissance	15 à 25
Floraison	15 à 25
Formation	> 30

➤ La lumière

La plante présente une forte sensibilité à l'intensité lumineuse, notamment au moment de la floraison. Une déficience de lumière entraîne l'avortement des fleurs (**Peron, 2006**).

➤ Humidité

Le haricot exige autant une humidité de l'air que du sol pendant sa végétation Généralement cette espèce recommande une humidité d'air de l'ordre de 60 à 70% (**Devignes, 1986**).

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.3.7. Aspect économique du haricot

En Algérie, d'après l'Institut Technique des Cultures maraîchères et Industrielles (ITCMI), le haricot est une plante cultivée dans tout le territoire Algérien. Le haricot est placé en 13ème position des cultures maraîchères, soit 2.16% de la production totale (tableau 4).

Parmi les légumes, le haricot occupe la troisième position par une surface de 14.57% et ce par rapport à la superficie totale réservée au maraîchage.

Tableau 4 : Production du haricot vert en Algérie 2010- 2012.

Années	Superficie (ha)	Production (qx)	Rdt (qx /ha)
2010	167,09	12 144	72.7
2011	147.89	15 373	103.9
2012	141.81	14 460	102.2

Notre travail de recherche était réalisé dans le laboratoire d'Éco-Biologie animale, dans la serre du département de biotechnologie de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Blida 1, ainsi qu'au niveau du laboratoire d'hygiène de la wilaya de Tipaza. L'analyse physico-chimique du sol a été réalisée au niveau de l'ITAF -Boufarik et INRAA – BERAKI – Algérie.

II.1. Matériels

II.1.1. Matériel non biologique

La liste du matériel de laboratoire utilisé est présentée dans l'**annexe 1**

II.1.2. Matériel biologique

II.1.2. 1. Le sol

L'échantillonnage de sol est réalisé dans la région de Cherchell (Tipaza), dans un jardin domestique, loin des zones industrielles ou agricoles. Le sol est séché à l'air libre. Les échantillons prélevés ont subi un tamisage afin de récupérer la fraction ≤ 2 mm (OCDE, 2004) et conservé à une température ambiante pour être utilisé dans notre culture d'haricot. De plus, des paramètres physico-chimiques ont été analysés dans notre sol tel que ; le pH, l'humidité et la capacité de rétention d'eau (CRE), etc. Les analyses sont illustrées sur le **tableau – Annexe 3**.

II.1.2. 2. Les boues

- Des échantillons de boues résiduelles de STEP étaient fournis par la station d'épuration des eaux usées de CHENOUA (Tipaza) (**annexe 2**). C'est une boue pâteuse d'une siccité de 34,62%.
- Les boues d'aquaculture utilisées ont été fournies par la station d'élevage de poisson d'eau douce de HARIZA (**annexe 2**) c'est une boue liquide d'une siccité de 27,27%.

Nous avons réalisé un **vermicompostage** de ces boues durant 21 jours, au niveau du laboratoire d'éco-biologie animale au niveau du département de biotechnologies.

Les boues avant et après vermicompostage ont subi des analyses bactériologiques et physicochimiques dont les résultats sont présentés dans les **tableaux 5 et 6**, respectivement.

II.1.2. 3. Les vers de terre

Les vers de terre *Eisenia fetida* (**Figure. 4**) utilisés dans notre étude proviennent d'une culture réalisée au niveau du laboratoire d'éco-biologie animale du département de biotechnologies de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Blida1. Les critères de sélection d'individus sont :

- Vers adultes, âgés de deux mois à un an et pourvus d'un Clitellum.
- Leur poids est compris entre 200 et 550 mg.
- Les vers de terre sont mis en acclimatation 24 h avant chaque essai. Durant cette période, les vers reçoivent la même nourriture qu'au cours de l'essai.
- Les vers devraient provenir d'une culture synchronisée offrant une structure d'âge relativement homogène.
- Les vers sont pesés individuellement et répartis au hasard, par groupes de six, dans les récipients expérimentaux au début de l'essai. Avant la pesée, on lave les vers avec de l'eau dé-ionisée, puis on les dépose un instant sur un papier filtre pour éponger l'excès d'eau (**OCDE, 2004**)



Figure 4 : Les vers de terre *Eiseinia Fetida*

II.1.2. 4. Matériel végétal : le haricot *Phaseolus vulgaris.L*

Le matériel végétal utilisé dans notre expérimentation est le haricot vert (*Phaseolus vulgaris.L*) pour lequel on a choisi la variété : DJADIDA dont la semence provient de l'Institut Technique de Cultures Maraichères et Industrielles (ITCMI) (Figure 5).



Figure 5 : Grains de la variété DJADIDA

La variété DJADIDA présente les caractéristiques suivantes

- Variété naine de type mange-tout,
- Bonne vigueur,
- Feuilles longues de couleur verte claire à fleurs blanches.
- Gousses de longueurs moyennes (16 cm), et de diamètre de (10 mm) à couleur verte foncée sans fil.
- Résistance au mildiou poudreux (ITCMI, 2016).

II.2. Méthodes ;

II.2.1. Vermicompostage des boues

Des quantités de boues ont été mises en contact avec les vers de terre *Eiseinia fetida* sur une période de 21 jours. En effet, environ 500g de boues sont placées dans des boîtes avec six vers de terre par boîte. Ces derniers sont lavés préalablement avec de l'eau déionisée, puis

Chapitre II : Matériels et méthodes

déposés sur un papier filtre pour éponger l'excès d'eau, pesés et mesurés (l'expérience a été réalisée en 4 réplifications) (Figure 6).

Après 21 jours, les vers sont retirés des boues, rincés à l'eau, laissés purger la boue ingérée sur un papier filtre en obscurité pendant environ 2 heures. Une fois rincés de nouveau et essuyés, les vers sont pesés et mesurés. La variation du poids et de la taille des vers avant et après le compostage révèle l'impact des boues sur les paramètres de croissance des vers.



Figure 6: étapes de préparation des vers de terre pour la stabilisation de boues.

II.2.2. Obtention des plantules d'haricot

Les graines du haricot sont imbibées dans l'eau pendant 2 h, la pré-germination a été effectuée dans deux boîtes de pétri en verre pendant 4 jours (**Fig.7-a**). La germination a été effectuée dans des alvéoles en plastiques remplies de terreau à raison de 1 graine par alvéole (**Fig.7-b**). Au stade de 2 feuilles et premières trifoliolées, les plantules de haricot ont été repiquées dans des pots en plastique destinés à la culture.



Figure 7 : Développement du haricot (a : pré-germination b : levée)

II.2.3. Lancement du test (culture du haricot) avec et sans épandage de boues

Des pots en plastique de 14.5 cm de hauteur et 12 cm de diamètre, présentant des orifices de drainage à leur base, et contenant du sol ont été préparés pour les cultures selon le plan suivant :

1^{ère} série de pots : sol seul (Témoin) x 4

2^{ème} série de pots : (Sol + Boues de STEP non compostées) x 4

3^{ème} série de pots : (Sol + Boues de STEP compostées) x 4

4^{ème} série de pots : (Sol + Boues aquacoles non compostées) x 4

5^{ème} série de pots : (Sol + Boues aquacoles compostées) x 4

II.2.4. Détermination des paramètres agronomiques du haricot

Cette partie est consacrée à la description de différentes méthodes utilisées pour mesurer les paramètres agronomiques de croissance de la plante après croissance totale (Mesure de la partie Aérienne/souterraine, Poids frais, Nombre de nodosités), ainsi que les paramètres chimiques (Chlorophylles a/b, Caroténoïdes).

II.2.4.1. Mesure de la partie Aérienne/souterraine

La mesure de la partie aérienne se fait par une règle ; de la tige jusqu'au bout de la plante.

La partie racinaire est mesuré du premier point sous-sol jusqu'aux limites



II.2.4.2. Poids frais.

Le poids frais est mesuré dès l'arrachage des plantes.



II.2.4.3. Chlorophylle

Pour mesurer la chlorophylle on prend 0.10 mg de feuilles de chaque pot de chaque expérience avec un mortier on les broie avec 40 ml d'acétone ensuite les feuille sont placés dans la centrifugeuse 10 minutes à 3000 tours (**Amiri et al., 2017**).

Les cuves sont passées dans un spectrophotomètre à une longueur d'ondes de 647 nm.

II.2.5. Analyses bactériologiques des boues

Les analyses bactériologiques des boues concernent les paramètres suivants : les coliformes totaux, les coliformes fécaux, les streptocoques, les entérobactéries et les germes totaux.

II.2.5.1. Prélèvements

➤ Prélèvement des boues d'aquaculture

Les prélèvements des échantillons des boues en vue d'une analyse microbiologique se fait dans des flacons en verre stérilisés selon un mode de prélèvement précis afin d'éviter toute contamination accidentelle (**Rodier, 2009**).

➤ Prélèvement boues de STEP

Il se fait directement, en utilisant une petite pelle, car ce type de boues est sous forme de pâte, dans des récipients cylindriques stériles en verre ou plastique bien fermés (**Rodier, 1996**).

II.2.5.2. Recherche et dénombrement des germes revivifiables à 37 °C

Cette méthode consiste à la recherche et le dénombrement des microorganismes revivifiables dans les eaux. Il s'agit de l'ensemble des micro-organismes capables de se multiplier en aérobiose à des températures optimales de croissance (après 24h à 37°C) (**Kéleké et al., 2004**).

➤ Mode opératoire

A partir de l'eau à analyser et des dilutions décimales 10^{-1} , 10^{-2} et 10^{-3} , porter aseptiquement 1 ml dans trois boites de Pétri vides, numérotées et préparées à cet usage.

Compléter ensuite avec environ 20 ml de gélose TGEA fondue puis refroidie à $45 \pm 2^\circ\text{C}$. Faire ensuite des mouvements circulaires et de va-et-vient en forme de « 8 » sur une surface horizontale pour permettre à l'inoculum de se mélanger à la gélose (**Lebres, 2002**).

Les boîtes seront incubées à $36 \pm 2^\circ\text{C}$, pendant 48 heures (**Lebres, 2006**).

➤ **Lecture**

Les germes revivifiables se présentent sous forme des colonies lenticulaires poussant en masse, ne dénombrer que les boîtes contenant entre 15 et 300 colonies (**Lebres, 2002**).

II.2.5.3. Recherche et dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale

La recherche et le dénombrement des germes indicateurs de contamination fécale se fait par méthode d'ensemencement sur milieu liquide (NPP) qui consiste à ensemencher nombreuses prises d'essai d'un même échantillon et/ou des dilutions de celui-ci dans des tubes de milieu de culture. Cette méthode est une estimation statistique du nombre de micro-organismes supposés distribués dans l'eau de manière parfaitement aléatoire (**Elarfi et al., 2009**).

II.2.5.4. Recherche et dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux

Les coliformes totaux sont des bacilles à Gram(-), non sporulé, oxydase (-), aérobie et anaérobie facultatifs. Ils se multiplient à 37°C pendant 48h.

Ce type de germes peut être recherché et dénombré dans le milieu de culture BCPL (**Tefyeche, 2014**).

Le terme de « coliformes fécaux » ou de « coliformes thermo-tolérants » correspond à des coliformes qui présentent les mêmes propriétés que les coliformes totaux après incubation à la température de 44°C . Ce type de germes peut être recherché et dénombré dans l'eau peptonée exempte d'indole (**Rodier, 2009**).

Afin d'examiner ces 2 types de germes on réalise les 2 tests suivants :

A. Test présomptif

À partir de l'eau testée, on porte aseptiquement :

- 03 fois 10 ml, dans 03 tubes contenant 9ml de milieu BCPL D/C muni d'une cloche de Durham.
- 03 fois 01 ml, dans 03 tubes contenant 9 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.
- 03 fois 0.1 ml, dans 03 tubes contenant 9 ml de milieu BCPL S/C muni d'une cloche de Durham.

Lecture

Après 48 Heures d'incubation à 37°C et en absence d'air, seront considérés comme positifs les tubes qui présentent à la fois un trouble microbien accompagné d'un virage du milieu au jaune et un dégagement gazeux se considèrent comme positifs.

Le dénombrement des coliformes se fait selon les prescriptions de la table du NPP (Rejsek, 2002).

B. Test confirmatif

Les tubes de BCPL qui montrent un résultat positif après le test de présomption font l'objet d'un repiquage à l'aide d'un ose bouclé dans des tubes contenant le milieu eau peptonée exempte d'indole l'incubation se fait à 44 °C pendant 24 heures (Rejsek, 2002).

Lecture

Les tubes qui présentent à la fois un anneau rouge en surface (Témoin de la production d'indole par *Escherichia Coli*), après adjonction de 2 à 3 gouttes du réactif de Kovacs et un dégagement gazeux se considèrent comme positifs. Le dénombrement s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP (Rejsek, 2002).

II.2.5.5. Recherche et dénombrement des streptocoques fécaux

Les streptocoques du groupe D (possèdent l'antigène du groupe D) sont des coques à Gram (+), catalase(-), immobile, anaérobie facultatif, et non sporulant formant quand ils sont cultivés en milieu liquide des diplocoques et/ou des chainettes (Gillespi, 2006).

On fait 2 tests successivement : un test présomptif en milieu de Rothe, et un test confirmatif en milieu Eva-Litsky. L'incubation dans les 2 tests se fait en 37°C pendant 24 à 48h (Rodier, 2009).

A. Test présomptif

➤ Mode opératoire

- ✓ À partir de l'eau à analyser, porter aseptiquement 1 ml dans un tube contenant 9 ml de milieu Rothe S/C pour obtenir la dilution 10^{-1} .
- ✓ Prélevé 1ml de tube précédent 10^{-1} et mettre dans le seconde tube contenant 9 ml de milieu Rothe S/C pour avoir la dilution 10^{-2} .
- ✓ Transférer 1ml de la dilution 10^{-2} dans un tube contenant 9 ml de milieu Rothe S/C, pour obtenir la dilution 10^{-3} .
- ✓ Refaire la technique pour les 2 autres séries.

L'incubation se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures (**Rejsek, 2002; Délarras, 2008**).

Lecture

Les tubes présentant un trouble microbien seront considérés comme positifs et la lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP (**Rejsek, 2002; Délarras, 2008**).

B. Test confirmatif

➤ Mode opératoire

Le test de confirmation est basé sur la confirmation des streptocoques du groupe (D) éventuellement présents dans le test de présomption.

Les tubes de Rothe trouvés positifs feront donc l'objet d'un repiquage à l'aide d'un ose bouclé dans un tube contenant le milieu Eva-Litsky, bien mélangé le milieu et l'inoculum (**Rejsek, 2002**).

L'incubation se fait cette fois ci à 37°C, pendant 24 heures (**Délarras, 2003**).

Lecture

Seront considérés comme positifs les tubes présentant à la fois:

- ✓ Un trouble microbien.
- ✓ Une pastille violette (blanchâtre) au fond de tube

La lecture finale s'effectue également selon les prescriptions de la table du NPP (**Lebres, 2006**).

II.2.5.6. Recherche et dénombrement des spores anaérobies sulfito-réducteurs

Cette recherche concerne les bactéries anaérobies strictes, parmi ces bactéries figure le genre *Clostridium* (**Rejsek, 2002**), il s'agit de bacille Gram (+) presque toujours mobile (**Pilet et al., 1987**) ; elles ont la possibilité de se transformer sous une forme de spores résistantes aux conditions défavorables (**Rejsek, 2002**) ; elles se développent en 24 à 48 heures à une température de $36 \pm 2^\circ\text{C}$ (**Lebres et Mouffok, 2008**).

Les ASR se développent sur une gélose VF en donnant des colonies typiques de couleur noire en réduisant les sulfites en sulfures, et en présence de Fe^{2+} (ion de fer) donne FeS (**Rejsek, 2002**).

➤ **Mode opératoire**

À partir de la solution mère :

- ✓ Prendre environ 20 ml dans un flacon stérile puis le soumettre à un chauffage à 80°C pendant 8 à 10 minutes dans le but de détruire toutes les formes végétatives des ASR éventuellement présentes.
- ✓ Refroidir immédiatement le flacon sous l'eau de robinet.
- ✓ Répartir ensuite le contenu de ce flacon dans 4 tubes stériles, à raison de 5ml par tube.
- ✓ Ajouter environ 20 ml de gélose VF, fondue et additionnée d'une ampoule d'Alun de fer et d'une ampoule de Sulfite de sodium.
- ✓ Mélanger doucement le milieu et l'inoculum en évitant les bulles d'air.

Laisser solidifier sur paillasse pendant 30 minutes environ, puis incubé à 37°C , pendant 24 à 48 heures (**Labres, 2006**).

• **Lecture**

- ✓ La lecture se fera après 24 heures et après 48 heures.

Dénombrer toute colonie noire d'environ 0,5 mm de diamètre, poussant en masse (**Rejsek, 2002**).

II.2.5.6. Recherche des germes pathogènes

Pour chercher et identifier les bactéries, nous avons utilisé la technique d'ensemencement par râteau sur gélose coulée dans des boîtes de pétri. Les milieux utilisés sont : Hektoen, Chapman, GANAB (**Bouchaala, 2010**).

II.2.5.7. Recherche des staphylocoques

Ce sont des coques (cocci) à Gram(+), groupés en amas, immobiles, non sporulés, catalase (+) et oxydase(-) (**Delarras, 2000**).

Ce type de germes peut être recherché et dénombré dans le milieu de culture Chapman.

➤ Mode opératoire

À partir de la solution mère et des dilutions décimales (10^{-1} à 10^{-3}), on ensemence 0.2 ml par râteau toute la surface des boîtes de pétri contenant le milieu Chapman. Par la suite, les boîtes sont incubées à 37°C pendant 24h, les colonies développées à la surface seront dénombrées (**Rodier, 2009**).

Lecture

- Si le milieu reste rouge, les colonies sont mannitol (-) car elles ne fermentent pas le mannitol, légère alcalinisation du milieu par l'utilisation de peptones dans leur métabolisme énergétique.
- Si le milieu devient jaune, les colonies sont mannitol (+) car elles fermentent le mannitol dans leur métabolisme énergétique avec acidification du milieu

Les colonies suspectes sont confirmées par :

- ✓ Un examen microscopique après coloration de Gram.
- ✓ Un test au mannitol mobilité.
- ✓ Un test à la catalase (**Aberkane et al., 2011**).

II.2.5.8. Recherche des entérobactéries

A. Les salmonelles

Ce sont des bacilles à Gram (-), non sporulés, le plus souvent mobiles, elles fermentent le Glucose avec ou sans production de gaz et réduisent les nitrates en nitrites, elles sont oxydases (-), catalases (+) et aérobie-anaérobie facultative (**Souna, 2011**).

Parmi les entérobactéries on a choisis les Salmonelles pour les étudier. Ces dernières se présentent sous forme de bacilles à Gram (-), lactose(-), qui fermente le glucose avec production de gaz et de H₂O (**Aberkane et al ., 2011**).

Ce type de germes peut être recherché et dénombré dans le milieu de culture Hektoen, SS ou Mac-conkey.

➤ **Mode opératoire**

▪ **Premier jour : Enrichissement**

Introduire 1ml de l'échantillon de l'eau à analyser dans 10ml de SFB puis incuber à 37°C (**Navoun, 2005**).

▪ **Deuxième jour : Isolement et identification**

Trois géloses sélectives ont été utilisées : les géloses SS, Hektoen et Mac-conkey qui sontensemencées par technique d'étalement en surface à raison de 0,2 ml puis incubées à 37°C (**Navoun, 2005**).

Lecture

Après 24 heures, des salmonelles se présentent sous forme des colonies incolores à centre noir (H₂S positif) sur SS et colonies verdâtre ou bleuâtres à centre noir sur Hektoen (**Navoun, 2005**).

II.2.5.9. Recherche des Vibrion

Les *Vibrionaceae* présentent sous forme de Bacilles Gram Négatifs droits ou incurvés (BGN), très mobiles, possédant une oxydase, aéro-anaérobies facultatifs, fermentant le glucose sans production de gaz ni d'H₂S (**Bazine et Bourenane, 2011**).

➤ Mode opératoire

Premier jour : Enrichissement primaire

L'enrichissement primaire s'effectue sur le milieu eau peptonée alcaline (EPA) en mettant une quantité d'eau à analyser dans un tube d'EPA. Ce dernier sera par la suite incubé à $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 20 ± 4 heures (Lebres et *al.*, 2008).

Deuxième jour : enrichissement secondaire et Isolement

Après incubation, le tube constituant l'enrichissement primaire fera l'objet :

- D'un isolement sur gélose GNAB, l'incubation se fait à $36\pm 2^{\circ}\text{C}$ pendant 20 ± 4 heures.

D'un deuxième enrichissement en transmettant quelques gouttes de la surface dans un nouveau tube d'EPA (Delarras, 2000).

- D'autre part la boîte de gélose GNAB subira une lecture après 24 heures en tenant compte de fait que les vibrions se présentent le plus souvent sous forme de grosses colonies lisses, transparentes et très caractéristiques (Lebres, 2008).

Identification

- ✓ Coloration de Gram (bacilles Gram -).
- ✓ Oxydase (+).
- ✓ Identification par l'API 20 NE (Délarras, 2000)

II.2.5.10. Identification des bactéries isolées

➤ Examen macroscopique des caractères cultureux

L'aspect des colonies dépend du milieu, de la durée et la température d'incubation. Il ne pourra être décrit convenablement qu'à partir des colonies bien isolées.

La description des colonies doit mentionner plusieurs éléments :

- La taille.
- La forme : bombée, plate, ombiliquée, à centre surélevé.
- L'aspect de la surface : lisse, rugueux.
- L'opacité : opaque, translucide, transparent.
- La consistance : grasse, crémeuse, sèche, muqueuse.

- Pigmentation (**Delarras, 2003**).

- **Examen microscopique après coloration de Gram**

- **Les étapes de coloration de Gram**

- À partir de la culture à étudier préparer un frottis.
- Réaliser une coloration simple au violet de Gentiane, laisser agir pendant 1 minute.
- Ajouter le Lugol et laisser agir pendant 1 minute.
- Laver à l'eau puis à l'alcool.
- Recolorer avec la Fuchsine, laissé agir pendant 30 secondes (**Delarras, 2003**).

- **Lecture**

Observer au microscope :

- Les bactéries Gram(-) sont roses.
- Les bactéries Gram(+) sont de coloration violette (**Delarras, 2003**).

- **Examen lié aux caractères biochimiques**

- ❖ **Test d'oxydase**

- **Principe**

L'oxydase est une enzyme catalysant une réaction d'oxydo-réduction impliquant une molécule de dioxygène (O₂) comme accepteur d'électron. Dans ces réactions, l'oxygène est réduit en eau (H₂O) ou en peroxyde d'hydrogène (H₂O₂).

Une bactérie possède l'enzyme respiratoire, appelée le cytochrome oxydase (dernière enzyme de la chaîne respiratoire, alors elle peut faire la réaction suivante :



- **Technique**

La technique consiste à utiliser des disques (OX) commercialisés par l'institut Pasteur, ces disques sont imprégnés de l'oxalate de diméthyle para-phenylène diamine, ce composé est oxydé par le système cytochrome C des bactéries dites positive en un composé violet. En pratique, le disque est imbibé avec une ou deux gouttes d'eau distillée stérile et une parcelle

de culture prélevée à l'aide d'une anse de platine est alors étalée sur ce disque (Mechai, 2009).

- **Lecture**

La présence d'oxydase se manifeste alors par le développement d'une coloration violette (Mechai, 2009).

- ❖ **Test catalase**

- **Principe**

La catalase est une enzyme présente chez la plupart des bactéries aérobies strictes et anaérobies facultatives. La catalase permet la dégradation de l' H_2O_2 oxygénée en eau et oxygène libre qui se dégage sous forme gazeuse selon la réaction suivante :



- **Technique**

La technique consiste à déposer une colonie de la culture à tester sur une goutte d'eau oxygénée (Delarras, 2003).

- **Lecture**

Si les bactéries examinées possèdent une catalase, on observe un dégagement immédiat de bulles gazeuses. Si un dégagement de bulles de gaz (oxygène) apparaît, le test est dit positif (Delarras, 2003).

- ❖ **Test Mannitol mobilité**

- **Principe**

L'étude de la dégradation du mannitol et l'appréciation de la mobilité sont réalisés sur le milieu Mannitol-mobilité qui est un milieu semi solide (Delarras, 2003).

- **Techniques**

- Ensemencer le milieu par pique centrale à l'aide du fil droit de l'anse de platine qui doit être trop chargé par la suspension bactérienne préparée préalablement.

- Incuber à 37°C pendant 24h (Guiraud, 1998).

- **Lecture**

- Fermentation du Mannitol :
- ✓ Virage de la couleur du milieu de rouge au jaune : test Mannitol (+).
- ✓ Pas de la couleur du milieu : test Mannitol (-).
- La mobilité : se traduit par un envahissement plus ou moins grand à partir de la pique centrale (**Guiraud, 1998**).

❖ La galerie API Staph

□ Principe

La galerie API Staph comporte 20 micro-tubes contenant des substrats déshydratés. Les tests conventionnels sont inoculés avec une suspension bactérienne saline qui reconstitue les milieux (**Aouissi, 2010**).

- **Mode opératoire** : L'opération s'effectue selon les étapes suivantes :

✓ Préparation de la galerie

- Inscrire la référence de la souche sur languette latérale du biote.
- Réunir fond et couvercle du biote d'incubation et répartir environ 5ml d'eau distillée pour créer une atmosphère humide.
- Sortir la galerie de son emballage individuel et la placer dans la boîte d'incubation (**Aouissi, 2010**).

✓ Préparation de l'inoculum

A l'aide d'une anse de platine on prélève 2 ou 3 colonies et les ensemence dans l'ampoule d'Api Staph medium (**Aouissi, 2010**).

✓ L'inoculation de la galerie

- A l'aide d'une pipette remplir les tubes de la galerie avec API Staph Mediumensemencé des tests NO₃ à PNPG. Ne remplir que les tubes et non les cupules, sans dépasser le niveau du tube.
- Les tests ADH, URE vont être complété avec l'huile de vaseline.
- Renfermer la boîte d'incubation puis incubé à 37°C pendant 24 heures (**Aouissi, 2010**).

□ Lecture et interprétation

Les résultats doivent être notés sur la fiche de résultat.

Chapitre II : Matériels et méthodes

La lecture se fait à l'aide d'un tableau de lecture et d'un logiciel d'identification (Aouissi, 2010).

NB : Les tubes d'identification pour tous les essais sont présentés en annexe 4.

II.2.4.6. Les analyses physico-chimiques des boues

Dans cette partie, nous avons effectué des analyses tel que : le pH, la conductivité, la siccité, la matière volatile sèche (MVS).

➤ Mesure de pH

- Peser 20g de boue brute à l'aide d'une balance analytique, verser dans un bécher de 100ml.
- Ajouter 50ml d'eau distillé et agiter le mélange pendant 30min à l'aide d'un agitateur magnétique.
- Laisser décanter 15min. Mesurer le pH de la suspension à l'aide du pH-mètre (BOECO Germany BT-675).

➤ Mesure de la conductivité

- Peser 20g de boue brute à l'aide d'une balance analytique. Mettre dans un bécher de 100ml,
- ajouter 50ml d'eau distillée. Agiter le mélange pendant 30min à l'aide d'un agitateur magnétique.
- Laisser décanter 15min. Mesurer la conductivité de la suspension à l'aide d'un conductimètre (HANNA instruments EC215).



Mesure de la conductivité

➤ La siccité(S)

La siccité de boue est déterminée par pesée d'une certaine quantité de boue avant et après passage à l'étuve à 105°C. La perte du poids par le solide représente le poids d'eau évaporée pendant le séchage. La siccité est calculée par la loi suivante :

$$\text{Siccité} = \frac{p_2 - p_0}{p_1 - p_0} \times 100 (\%)$$

Avec :

P0= le poids de capsule vide (g).

P1= le poids de la boue avec la capsule (g).

P2= le poids de la boue séchée avec le creuset (g).

➤ **Matières volatiles sèche (MVS)**

La boue sèche est mise dans un four à moufle à 551°C pendant 2 heures (calcination). L'ensemble est pesé avant et après passage dans le four. La **MVS** est exprimé en grammes (g). Les matières sèches volatiles sont déterminées selon la loi suivante :

Avec :

$$\mathbf{MVS = P2 - P3}$$

P2 : le poids de la boue séchée + le creuset (en g)

P3 : le poids de la boue calcinée + le creuset (en g).



Figure 11 : La calcination dans un four à moufle

Chapitre III : Résultat et discussion

Les résultats de cette étude ont été répertoriés en trois parties; l'une concerne l'analyse physico-chimique du sol utilisé pendant l'expérience et les analyses bactériologiques et physico-chimiques des boues de la station d'épuration de CHENOUA (Tipaza) et du bassin d'aquaculture d'AIN- DEFLA (Hariza). La 2ème partie porte sur l'effet des boues sur les vers de terre *Eisenia fetida* lors du vermicompostage et la 3eme partie ; valorisation agricole, qui englobera les résultats de l'effet des boues vermicompostées et non sur certains paramètres agronomiques de croissance de la plante soit ; le haricot commun *Phaseolus vulgaris L.*

III.1. Analyse physico-chimique du sol

L'analyse physico-chimique du sol portait sur les paramètres suivants; pH, la conductivité électrique (CE), le phosphore (P), le potassium (K), la granulométrie (texture) et la matière organique (**Annexe 3**).

Il en ressort que le sol utilisé dans l'étude expérimentale est de texture sableuse, légèrement alcalin et présente une teneur riche en matière organique. Aucun dépassement par rapport aux recommandations de qualité (nationales ou Internationales) des sols n'a été noté.

III.2. Influence des boues sur la croissance des vers de terre *Eiseinia Fetida*

Afin d'étudier l'influence des boues sur les vers de terre lors du vermicompostage, nous nous sommes intéressés à deux paramètres indicatifs des conditions physiques d'où la croissance des vers de terre soit; l'évolution du poids (**figure 12**) et de la taille (**figure 13**).

III.2.1. Le poids des vers de terre:

Les résultats de la variation du poids des vers de terre pendant le vermicompostage sont illustrés dans la **figure 12**.

On constate que le poids des vers a augmenté dans les deux boues compostées pendant 21 jours. Cependant, l'augmentation est plus importante dans les boues de STEP (BS) par rapport aux boues d'aquaculture (BA) (Figure 12-A). En effet, le pourcentage de croissance est de 63% et 22% dans les BS et BA, respectivement (**Figure 12-B**).

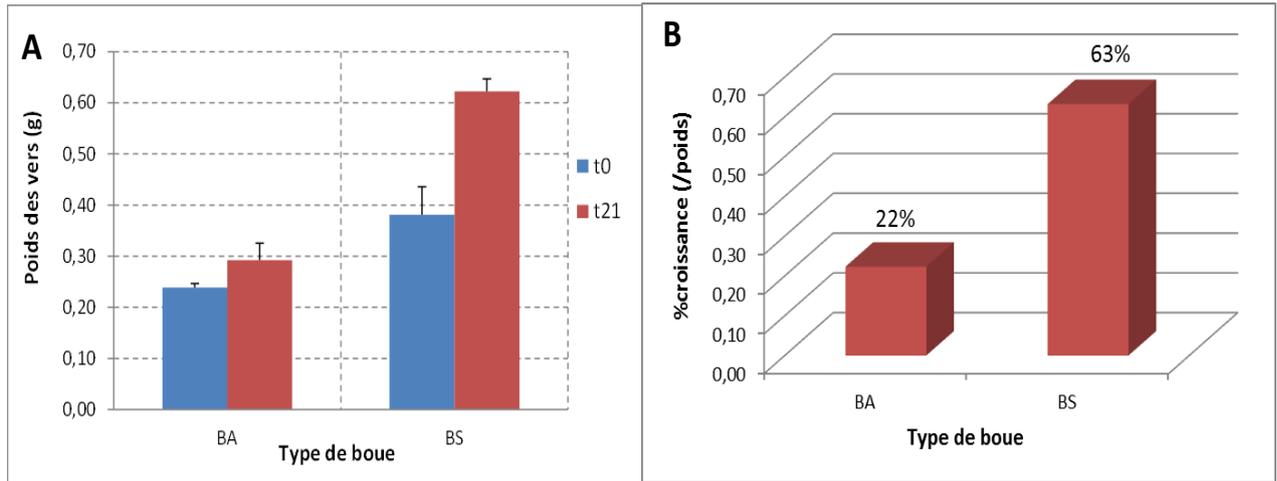


Figure 12 : Variation du poids (A) et le pourcentage de croissance (B) des vers de terre dans les différentes boues non compostées (t=0jour) et compostées (t=21jours). **BA**: Boues Aquacoles, **BS**: Boues de STEP.

III.2.2. Taille des vers de terre

Les Variations de la taille des vers de terre dans les boues compostées et non compostées sont présentées dans la **figure 13**. Elles démontrent une augmentation de la taille dans les boues de la STEP (BS) par rapport aux boues aquacoles (BA). Cette augmentation est très significative pour la période de contact de 21 jours, où les vers ont manifesté une augmentation importante dépassant les 10 cm (Figure 13-A).

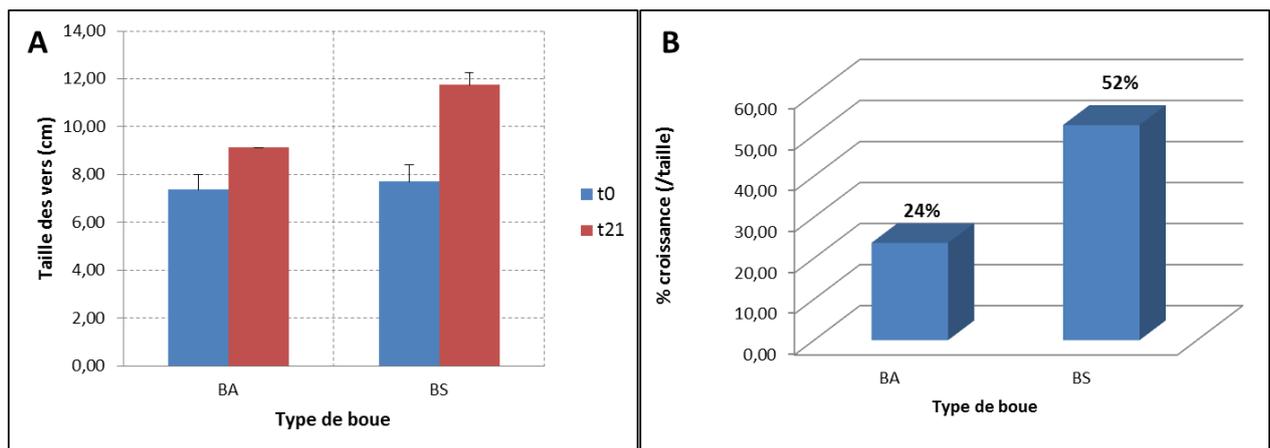


Figure13 : Variation de la taille (A) et du pourcentage de croissance par rapport à la taille (B) des vers de terre dans les différentes boues non compostées (t=0jour) et compostées (t=21jours). **BA**: Boues Aquacoles, **BS**: Boues de STEP

Chapitre III : Résultat et discussion

En effet, il apparaît clairement dans la figure **13-B**, une augmentation de la taille des vers de 52 % et de 24%, dans les boues BS et BA, respectivement, après une période de vermicompostage de 21 jours.

Cette augmentation du poids et de taille des vers dans les boues lors du vermicompostage peut être attribuée à leur richesse en nutriments organiques et inorganiques. Toutefois, le pourcentage de croissance le plus élevé a été révélé dans les BS, sachant que ces boues étaient récupérées de la station d'épuration des eaux usées urbaines de Chénoua (Tipaza); une ville touristique exempte d'industrie chimique qui peut générer des substances toxiques.

De plus, cette croissance observée révèle une bonne adaptation des vers de terre à leur environnement (Xing et al., 2016).

III.3. Les paramètres agronomiques de l'haricot

III.3.1. La hauteur des plantes

La **figure 14** représente la hauteur de la partie aérienne des plantules d'haricot soumises aux différents traitements. On remarque à la première analyse, les pots qui ont reçu des boues compostées fournissent une production nettement supérieure à celle obtenue après épandage de boues non compostées :

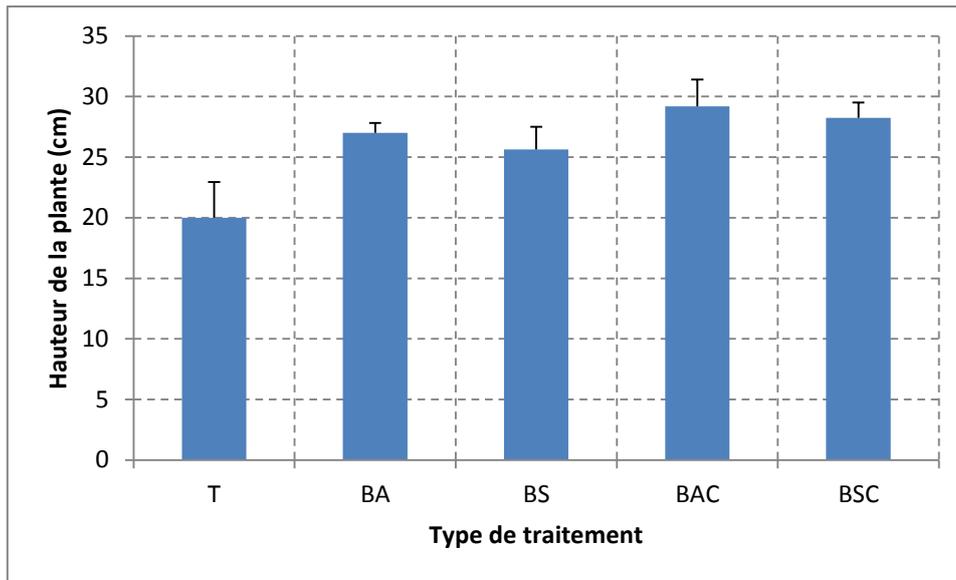


Figure14 : Variation de la hauteur des plantes dans les différents traitements de sol. **T:** Témoin (sol seul), **BA:** Boues Aquacoles non compostées, **BS:** Boues de STEP non compostées, **BAC:** Boues Aquacoles Compostées, **BSC:** Boues de STEP Compostées.

Cette différence s'explique sans doute par le fait que les éléments nutritifs présents dans les amendements, et surtout l'azote, sont, progressivement libérés. Par ailleurs, les traitements (boue d'aquaculture composté et boue de la STEP compostée) ont une différence significative par rapport aux autres traitements. En effet, on note une augmentation d'environ 4 cm par rapport aux traitements par boues de la STEP et d'aquaculture (non compostées) et de 9cm par rapport au témoin.

Selon **LESEL et al.**, (1976) les cultures qui n'ont pas reçu d'amendement organique fournissent une faible récolte. Cette diminution de végétation peut s'expliquer, soit par une déficience en un ou plusieurs oligoéléments, soit par l'accumulation dans le milieu jusqu'à des doses toxiques d'éléments nutritifs imparfaitement utilisés par la plante en l'absence de matière organique.

Cette expérience montre qu'il est possible d'employer les substances organiques et minérales rejetées par une pisciculture ou une STEP en particulier après un vermicompostage où les vers de terre en association avec les microorganismes du milieu vont transformer les produits organiques en matière organique assimilable.

III.3.2. Le poids frais des plantes

Les résultats obtenus pour le poids frais des plantes sont présentés dans la figure 15 ci-dessous.

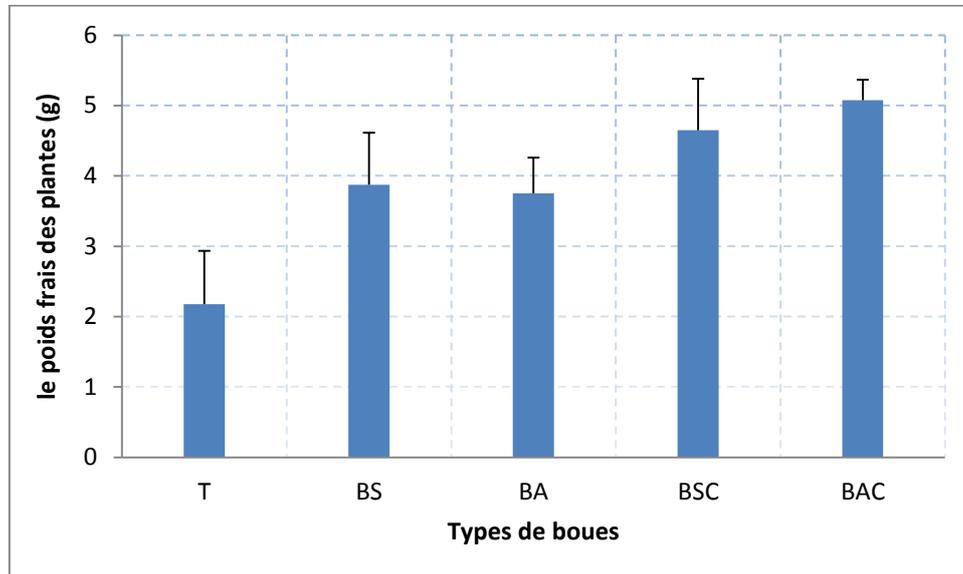


Figure 15: Variation du poids frais des plantes dans les différents traitements de sol. **T:** Témoin (sol seul), **BA:** Boues Aquacoles non compostées, **BS:** Boues de STEP non compostées, **BAC:** Boues Aquacoles Compostées, **BSC:** Boues de STEP Compostées

La **figure15** représente le poids frais de la plante soumise aux différents traitements. On constate une augmentation chez les boues d'aquaculture et de la STEP compostées à une valeur moyenne de 5.08 et 4.64 g, respectivement, par rapport au témoin et aux boues non compostées.

Le compost de boues résiduaire, en présence de vers de terre, permet d'améliorer la qualité des plantes pour une meilleure réussite en site de reboisement (Chouial M. et al , **année.**).

III.3.3. Le nombre de feuilles

La **figure 16** nous montre que le nombre des feuilles est plus important dans tous les traitements par rapport au témoin, mais une variabilité entre les traitements eux même.

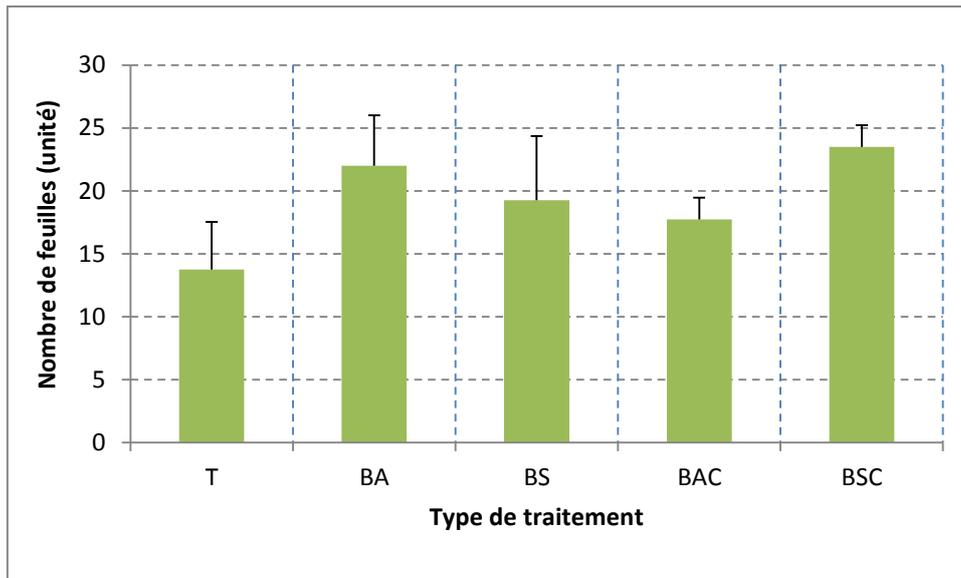


Figure 16 : Variation du nombre de feuilles des plantes dans les différents traitements de sol.

T: Témoin (sol seul), **BA:** Boues Aquacoles non compostées, **BS:** Boues de STEP non compostées, **BAC:** Boues Aquacoles Compostées, **BSC:** Boues de STEP Compostées.

Le nombre de feuilles le plus élevé par plante est observé suite au traitement par les BSC. Dans les pots ayant subi un épandage BS et BAC, le nombre de feuilles se rapproche 17.75 et 19.25, respectivement. Par contre, dans le témoin (le sol seul), le nombre est très réduit (13.75), ce qui peut être expliqué par sa pauvreté en nutriments organiques et inorganiques comparativement aux sols ayant subi un épandage de boues, d'où enrichis.

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

III.3.4. Le poids frais des feuilles

Nos résultats de mesure de poids frais des feuilles sont illustrés dans la figure 17.

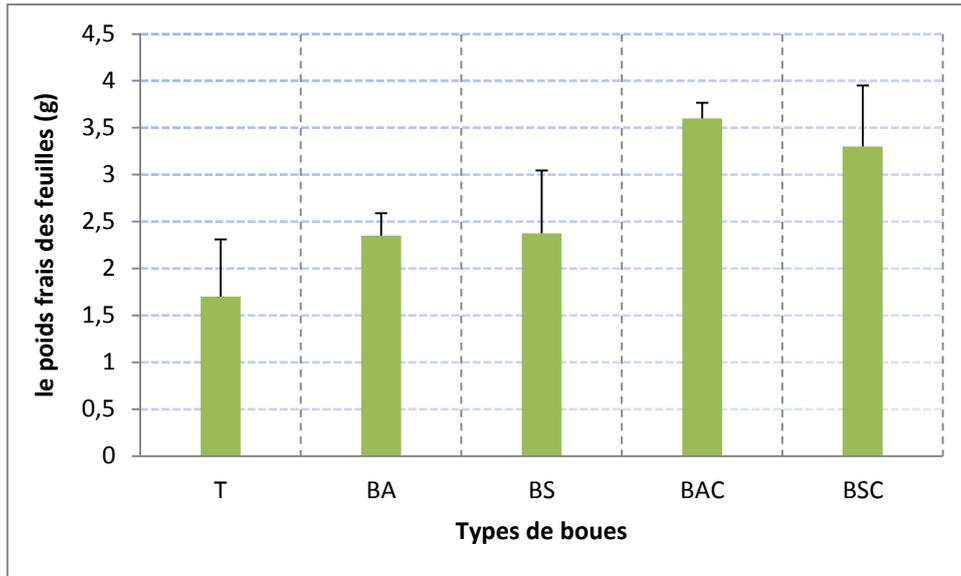


Figure 17: Variation du poids des feuilles des plantes dans les différents traitements de sol.

T: Témoin (sol seul), **BA:** Boues Aquacoles non compostées, **BS:** Boues de STEP non compostées, **BAC:** Boues Aquacoles Compostées, **BSC:** Boues de STEP Compostées

La **figure17** représente le poids frais de feuilles des plantes soumises aux différents traitements. On constate une augmentation chez les boues d'aquaculture et de la STEP compostées ; par une valeur moyenne de 3.6 g et 3.2 g, respectivement, par rapport au témoin.

III.3.5. La longueur racinaire

La **figure18** présente le développement de la partie racinaire suite aux différents traitements du sol par les boues.

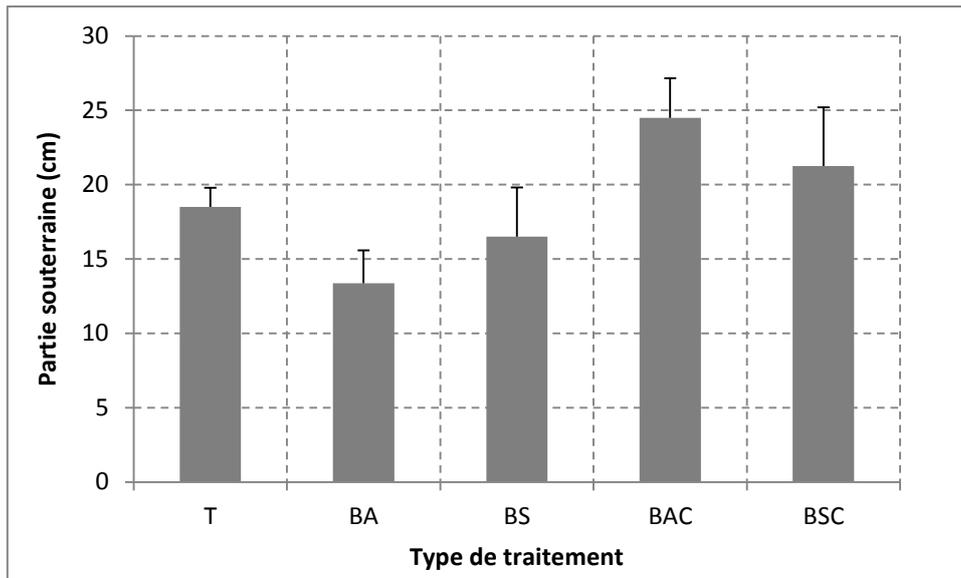


Figure 18 : Variation de la longueur des racines dans les différents traitements de sol.

T: Témoin (sol seul), **BA:** Boues Aquacoles non compostées, **BS:** Boues de STEP non compostées, **BAC:** Boues Aquacoles Compostées, **BSC:** Boues de STEP Compostées.

Il ressort une augmentation significative de la longueur de cette partie dans les sols ayant subi un traitement par les boues compostées (BAC et BSC) par rapport au témoin. Toutefois, il n'y a pas une homogénéité entre tous les traitements d'où on observe la longueur maximale chez les boues BAC de 24.5 cm suivi par les boues de la BSC de 21.25 cm. Par contre, la longueur la plus faible a été constatée au niveau des boues BA par une longueur moyenne de 13.25 cm.

VI.1. Etude de la partie aérienne du haricot

VI.4.1. Mesure de la chlorophylle *a*

La chlorophylle *a* est un pigment vert qui est présent dans les plantes; elle absorbe la lumière du soleil et la convertit en sucre au cours de la photosynthèse.

Nous avons évalué la chlorophylle dans les feuilles des plantes soumises aux différents types de boues.

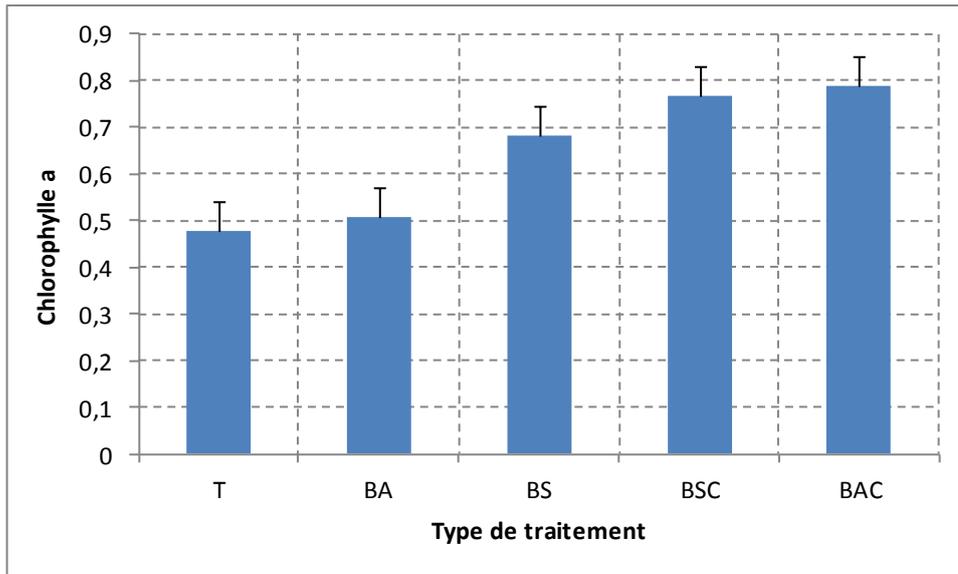


Figure 19 : Variation du taux de Chlorophylle a des feuilles dans les différents traitements de sol. **T**: Témoin (sol seul), **BA**: Boues Aquacoles non compostées, **BS**: Boues de STEP non compostées, **BAC**: Boues Aquacoles Compostées, **BSC**: Boues de STEP Compostées.

Nos résultats révèlent une augmentation significative de la quantité de chlorophylle **a** chez les plantes ayant subi des traitements par les boues (BAC, BSC, BS, BA). Ces plantes présentent un taux d'absorbance très élevé. Tandis que le témoin présente une différence significative avec un taux plus bas.

Enfin de cette partie, sur les paramètres agronomiques de la plante étudiée, nos résultats ont bien démontré que l'association de boues et de vers (vermicompostage) est d'une grande importance pour la plante qui donne un meilleur rendement. En décomposant et en recyclant rapidement la matière organique, les vers de terre contribuent à éliminer les micro-organismes fongiques pouvant hiverner sur les résidus de culture. De plus, leurs déjections stimulent une activité microbienne également impliquée dans la décomposition des résidus végétaux. D'autre part, les bactéries contenues dans le tube digestif de certains vers ont un effet positif sur la résistance des racines à l'attaque de nématodes phytoparasitaires (Lu *et al.*, 2012).

III. 2. Analyses bactériologiques des boues de la STEP et d'Aquaculture

Cette partie comporte une analyse qualitative et quantitative qui consiste à rechercher quelques germes présents dans les boues qu'on a utilisées.

Chapitre III : Résultat et discussion

III.2.1. Dénombrement des germes totaux

Les analyses bactériologiques des boues de STEP et d'aquaculture ont montrés une grande variation des concentrations de bactéries. Les résultats que nous avons obtenus sont présentés dans le **tableau 5**. Les analyses quantitatives ont été faites par la méthode de nombre le plus probable NPP.

Tableau 5 : Résultats d'analyse bactériologique des boues de STEP et Aquacoles

Types de boues	BS	BSC	BA	BAC
Germes totaux (bactérie/g)	332	120	196	124
Coliformes totaux (bactérie/g)	3666	3666	3666	3666
Coliformes fécaux (bactérie /g)	50	7.2	20	3
Streptocoque totaux (bactérie /g)	366	3	740	6.1
Streptocoque fécaux (bactérie /g)	35	3	6.2	1
ASR (bactérie/g)	Indénombrable	indénombrable	Indénombrable	indénombrable

D'après le **tableau 5**, la flore totale isolée présente une fluctuation considérable entre les différents échantillons, elle atteint son maximum au niveau des boues de la STEP par un nombre de 332 bactéries par ml, ceci peut être expliqué par la sensibilité de ces germes aux conditions environnementales en dehors du tractus digestif de leur hôte et leur nombre décroît lors de l'exposition à la lumière

III.2.1.1. Coliformes totaux et fécaux

La recherche des coliformes est primordiale du fait qu'un grand nombre d'entre eux vivent en abondance sur les matières fécales des animaux à sang chaud et de ce fait constituent des indicateurs de première importance (**Aberkane et al, 2011**).

Les résultats nous montrent que les concentrations des coliformes totaux sont les mêmes, c'est stable dans les différents échantillons, dont la valeur de 3666 bactérie/g

Pour les coliformes fécaux, la valeur maximale est enregistrée au niveau des boues de la STEP par une valeur de 30 (cellule/g), et la valeur minimale est enregistrée au niveau des boues d'aquaculture compostées par une valeur de 3 (bactérie/g).

Selon **St Martin (1997)**, la forte charge des coliformes dans les boues déshydratées peut être due à l'alimentation de celles-ci par des boues fraîches lors du traitement d'épuration ainsi que par la richesse de ces boues en matière organique, ce qui favorise le développement de ces germes de plus l'augmentation de la température dans les lits de séchage par rapport aux conditions des bassins de traitement et la réduction de la quantité d'oxygène, les travaux de **Jacob et al.,(2002)** ont montré que durant les premières semaines de stockage des boues, une activité microbienne a été observée en raison de la température modérée

III.2.1.2. Les streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des excellents indicateurs de contamination récente par la matière fécale des animaux (**Rodier, 2009**).

La diminution de la concentration en streptocoques fécaux est due au fait que pendant la période d'expérimentation, les échantillons ont été stockés dans un congélateur.

Durant cette période, la température s'abaisse et donc il y a une réduction du métabolisme et du nombre des bactéries (**Zouaimia et Brahmia, 2013**).

III.2.1.3. Les anaérobies sulfite-réducteurs :

Les bactéries anaérobies sulfite-réductrices sont d'origine fécale et indiquent une contamination fécale ancienne.

On a observé dans la figure (**Fig06-Annexe**) que le nombre dans les deux milieux (boue de STEP, boue d'aquaculture) est indénombrable.

Chapitre III : Résultat et discussion

Les anaérobies sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme des indices de contamination ancienne. La forme de spore sont beaucoup plus résistante que les formes de déceler une pollution fécale ancienne, bien que ça ne puisse pas être toujours le cas, car les clostridies sulfito-réductrices peuvent avoir une origine tellurique (Aberkane *et al*, 2011).

III.2.2. Recherche des bactéries pathogènes

III.2.2.1. Identification des espèces bactériennes

A. Caractères morphologiques et coloration de Gram

Pour la recherche et l'identification des germes existants dans nos échantillons, on les a soumis à certains nombres de tests dont les résultats sont représentés dans le **tableau 6** qui suit.

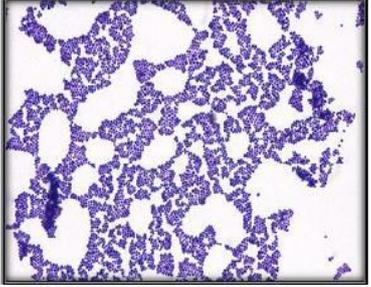
Tableau 6 : Résultats de l'identification des germes pathogènes

Bactéries	Boues de STEP	Boues d'aquaculture	Boues de STEP composté	Boue d'aquaculture compostée
Staphylocoque	+	-	-	-
Salmonelle	-	-	-	-
Vibrion choleraï	-	-	-	-

(+) : résultat positive, (-) : résultat négative.

Chapitre III : Résultat et discussion

Observation

Échantillon	Culture	Observation macroscopique des colonies	Observation microscopique des colonies
Boue de STEP	 Chapman	colonies Petites et moyennes, plus ou moins plates, lisses, opaques crémeuses, à contour régulier, de couleur blanche ou jaune.	Cocci à Gram (+) groupés en amas ou en chaînette. 

III.2.2.2. Identification des staphylocoques

A partir du milieu de culture Chapman on a prélevé une colonie pour l'identifier par les tests suivants.

Tableau 7 : Résultats des tests d'identification de *bactérie staphylocoque*

Test	Résultats
Examen macro et microscopique	+
Mannitol de mobilité	+
Catalase	+

(+) : résultat positive

C. Identification biochimiques des espèces testées

L'utilisation des galeries biochimiques Api Staph nous a permis d'identifier les germes pathogènes annoncés dans le tableau ci-dessous

Chapitre III : Résultat et discussion

Tableau 8 : Les résultats de l'identification biochimique par l'API Staph des germes isolés.

API Système	Milieu de Culture	Les espèces identifiées
API Staph	Chapman	

L'utilisation des galeries biochimique Api Staph nous a permis d'identifier les espèces suivantes :

- *Staphylococcus Hoemolyticus* **81.5 %**

-*Staphylococcus aureus* **67.2%**

NB : les résultats en détail sont cités dans l'annexe 4

III.3. Les paramètres physicochimiques des boues :

Ci-dessous le tableau 9 des analyses physicochimiques de différentes (boues de la STEP, d'aquaculture, de STEP compostés, d'aquaculture compostés) ont été analysés au laboratoire d'hygiène de Tipaza

Tableau 9 : Analyse physicochimique des boues

	BA	BS	BAC	BSC
pH	7.93	8.30	8.15	8.36
conductivité électrique µs	522	563	1062	1914
La siccité	72%	65%	25%	59%
MVS	0.11	0.09	0.17	0.73

CONCLUSION

Notre travail de recherche s'inscrit dans un concept de bioraffinerie environnementale qui consiste à traiter les sous-produits des activités humaines tels que les boues des stations d'épuration et les valoriser en ressources d'intérêt agronomique (un amendement organique du sol) tout en minimisant leur impact environnemental et sanitaire.

Dans ce contexte, l'objectif principal de notre étude est d'évaluer le vermicompostage en tant que processus de valorisation et d'hygiénisation des boues résiduelles de la station d'épuration des eaux usées urbaines de la wilaya de Tipaza et les boues d'aquaculture de Hariza (Ain Defla) en vue d'une utilisation agricole en tant que matière fertilisante du sol (vermicomposte). En effet, notre étude sur l'application des boues dans une culture d'haricot *Phaseolus vulgaris. L* et l'étude d'impact des vers de terre *Eiseinia fetida*, nous a permis de dégager certains résultats marquants.

Les effets à court terme étudiés dans cette expérimentation indiquent que l'amendement du sol par la boue a eu un effet bénéfique sur la fertilisation du sol et par conséquent sur le rendement de la culture du haricot notamment sur le poids et la taille des vers de terre.

Nous avons enregistré généralement un effet très significatif des boues compostées, avec une amélioration de l'ensemble des paramètres botaniques étudiés par rapport au témoin, soient; poids frais et taille de la plante, nombre et poids des feuilles, le taux de chlorophylle *a* ainsi que longueur des racines. Nous avons noté que l'apport des boues a influencé la croissance et le rendement des plants cultivés qui enregistrent un bon développement et un bon rendement par rapport à ceux cultivés dans le sol non amendé (témoin). Le traitement qui consiste à associer les boues et les vers (vermicompostage), donne une différence statistiquement significative et meilleure par rapport aux boues non compostées.

Par ailleurs, l'analyse bactériologique a révélé un abattement pour une majorité de germes totaux et quelques germes pathogènes qu'on a pu déterminer lors de notre étude. Cet abattement reflète l'efficacité du vermicompostage appliqué aux deux boues. C'est en fait un processus de Bio-oxydation où les vers de terre interagissent intensivement avec les microorganismes afin d'accélérer la stabilisation de la matière organique et modifier ainsi leurs propriétés biochimiques.

Suite aux analyses physico-chimiques des boues, il ressort aussi une amélioration de leurs paramètres physico-chimiques en particulier le pH qui est neutralisé. De là, on déduit le rôle important des vers de terre dans la stabilisation, l'hygiénisation, ainsi que la régulation acido-basique des boues.

CONCLUSION

Enfin, la récupération et la réutilisation des boues résiduelles pour des fins agricoles va certainement permettre de diminuer le taux des déchets, réduire l'utilisation des engrais chimiques, protéger notre environnement et par conséquent, contribuer au développement durable de notre pays.

Cependant, malgré l'amélioration de quelques paramètres morphologiques et biochimiques de la plante, notre étude reste cependant incomplète. En effet, la période de l'essai n'est pas suffisante pour apprécier l'influence des boues sur les paramètres de rendement de la culture.

Perspectives :

- Réaliser une cinétique de vermicompostage afin d'optimiser le temps idéal à la digestion et stabilisation des boues.
- Utilisation d'autres espèces de vers de terre et comparer le rendement.
- Compléter l'analyse microbiologique avant et après compostage.

Aberkane A., Yakhlef G., Laroui L S., et al. 2011.Évaluation de l'activité antimicrobienne de *Thymus vulgaris* et de *Laurusnobilis*, plantes utilisées en médecine traditionnelle. Article de synthèse Ethnopharmacologie.

ADEME. 1996. La valeur azotée des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines, 336p.

ADEME. 2001. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture - dossier documentaire. Paris. 30p.

Albrecht Remy. Co-compostage de boues de station d'épuration et de déchets verts : Nouvelle méthodologie du suivi des transformations de la matière organique. Thèse de doctorat. Sciences de la Terre. Université de droit, d'économie et des sciences - Aix-Marseille III, France, 2007.

Allen, A., 2001. Containment landfills: the myth of sustainability. *Engineering Geology*, 60,

Alloway, A. 1995. Heavy metals in soils. Edition blackie academic & professional, 368 p.

Alvarenga P., Mourinha C., Farto M, et al., 2015. Sewage sudge, compost and other representatie organic wastes as agricultural soil amendements : Benefits versus limiting factors. *Waste Management*, volume 44, p.227.

Almendros G., Guadalix M E., Gonzalez-Vila F J., et al. 1996. Preservation of aliphatic macromolecules in soil humins. *Org. Geochem.* 24, 6/7, 651-659.

Amadou H., 2007. Modélisation du séchage solaire sous serre des boues de stations d'épuration urbaines. Thèse de doctorat : Université Louis Pasteur-Strasbourg 1. 222 p.

Amiri H., 2017. Influence of Vermicompost Fertilizer and Water Deficit Stress on Morpho-Physiological Features of Chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. karaj). *Journal Compost Science & Utilization*. Volume 25, 2017 - Issue 3

Aouissi A., Fouzari A., et Meziane N., 2007. Qualité bactériologique de l'eau d'Oued Seybouse. Mémoire d'ingénieur. Université 8 mai 1945 Guelma. 57p.

Aouissi A., (2010). Microbiologie et physico-chimie de l'eau des puits et des sources de la région de Guelma (Nord-Est de l'Algérie). Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Magister. Université. 8 Mai de Guelma. 164p

Bahri H., Annabi M., 2011. Effet des boues urbaines sur la mouillabilité et la stabilité structurale d'un sol cultivé. *Étude et Gestion des Sols*. Vol. 18. n.3. pp. 7-15.

Bazine N., Bourenane A. 2011. Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de l'Oued Messida. Mémoire de master. Université 8 Mai 1945 de Guelma.

Bengtsson M., Tillman A M., 2004. Actors and interpretations in an environmental pollutants 1-4, 3-19. 336 p

Benterrouche I., 2007. Réponses écophysiologicals d'essences forestières urbaines soumises à une fertilisation avec les boues d'épuration. Thèse de Magister : Université Mentouri de Constantine. 179 p.

Billard R., 1980. La pisciculture en Etang: actes du Congrès sur la Pisciculture en Etang, Arbonne-la-Forêt, Institut National de la Recherche Agronomique, France. 434p.

Bouant E, 1897. Dictionnaire-manuel-illustré des sciences usuelles : astronomie, mécanique, art militaire, météorologie [etc.] ... Edit Collen. Paris.

Boelen M et al 1990. Utilisation Des Aliments Tropicaux : Légumineuses Tropicales. Food & Agriculture Org. 120p.

Bouchaala L., 2010. Contribution à l'étude de la qualité microbiologique et physicochimique de l'eau de l'Oued-Zénati(Guelma). Mémoire de magister. Université 8 Mai 1945 de Guelma, 135p.

Boucher G., 1977. Nématodes des sables fins infralittoraux de la Pierre Noire (Manche occidentale. 733p.

Bouillet M., Hachette L. 1860. Dictionnaire universel des sciences des lettres et des arts. Paris. P : 792

Catherine le roux et al, 2017. Biologie-Ecologie 2de Bac pro Productions : Modules EG3 - EP2. Edition Alice Picoche. Etudagri. 159p.

Chang A., Granato T., Page, A., 1992. A methodology for establishing phytotoxicity criteria for Cr, Cu, Ni, and Zn in agricultural land application of municipal sewage sludges. *J. Environ. Qual.*, 21, 521–536.

CHAUX C., 1972. Production légumière Ed. J.B. Bailliére. 300 p

CHAUX C., FOURY C. 1994. Productions légumières, Tome III, Légumineuses potagères, Légumes fruits, Technique et Documentation – Lavoisier, Paris. 414p.

Collection Guide pratique du CTA N° 7. 2008. Du compost enrichi pour des rendements plus élevés. Pays bas. 2p.

D. J. Allen., Ampofo J ., Worthmann C .1996. Ravageurs, maladies et carences nutritives du haricot commun en Afrique : Guide Pratique. CIAT. 132p.

D. J. Allen, 1987. Principales maladies du haricot en Afrique. CIAT. Colombie. 31p.

Daniel G., Debouck., Rigoberto H. 1987. Morphologie de la plante du haricot commun (*Phaseolus vulgaris L.*). Centro International de Agricultura Tropical. Colombie. 61p.

Délaras C. 2008. Surveillance sanitaire Et Microbiologique des eaux : Règlementation, Prélèvements, Analyses. TEC & DOC, 269p.

Délaras C. 2003. Surveillance sanitaire et microbiologique des eaux. Règlementation, prélèvements, analyses. Tec & Doc. 67 p.

Devignes A., 1986. Légumes faciles a cultivé. Ed L'amitié. Hatier. Paris. 117p.

DORE C et VAROQUAUX F ; 2006. « Histoires et amélioration de cinquante plantes cultivées », Ed INRA, Paris. 840 p.

Dousset S., Morel J L., Wiart J. 1999. Influence du chaulage sur la biodisponibilité des ETM incorporés au sol lors de l'épandage de boues de traitement. Etudes et gestion des sols.6, 2, 105-114.

Edward E. Ruppert, Robert D. Barnes ; 1994. Invertebrate Zoology. Saunders College Publishing. 1102 pages

Edwards C A., Bohlen J. 1992. "The effects of toxic chemicals on earthworms". Rev. Environ. Contam. Toxicol., vol. 125, p. 23-100.

Efroymsen R., Will M., Suter G., et al. 1997. Toxicological benchmarks for screening contaminants of potential concern for effects on terrestrial plants : 1997 revision, Oak Ridge, Tennessee.

Elarfi A., Charchar N., Sabber I., 2007. valorisation eaux usées in vitro des principaux rejets de la ville de Guelma par le procédé des phragmifiltre. Mémoire d'ingénieur. Université 8 Mai de Guelma. Université 8 Mai 1945 de Guelma.135p.

El-Fadel, M., Khoury, R., 2000. Modeling Settlement in MSW Landfills: a Critical Review. *Critical Reviews in Environ. Sci. Technol.* 30, 3, 327-361.

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 Paris- Grignon, 289p.

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.

Gillespie T R., Chapman C A. 2006. Prediction of parasite infection dynamics in primate metapopulations based on attributes of forest fragmentation. *Conservation biology*, 20, 441p

Gillespie S H., Hawkey P M., 2006. Principles and Practice of Clinical Bacteriology. 2^{ème} édition. John Wiley & Sons. England. 620 p.

Grubben G., 2004. Ressources végétales de l'Afrique tropicale. Tome2 : Légumes .CTA. Wageningen. Pays-Bas. 737p.

Guet G., 2003. Mémento d'agriculture biologique : guide pratique à usage professionnel. Agridécisions. 2eme édition. Paris. 305p.

Gourdon R., 2001.Traitement biologique des déchets, Techniques de l'Ingénieur, traité Environnement G2, 16 p.

GUIRAUD J P., 1998. Microbiologie alimentaires. (Tome 2). Edition DUNOD.Paris

Huang K., Xia H, 2018. Role of earthworms' mucus in vermicomposting system : Biodegradation tests based on humification and microbial activity. *J. Science of the Total Environment*, pp. 703-708.

Inoue S., Sawayama S., Ogi T., et al. 1996. Organic composition of liquidized sewage sludge. *Biomass and Bioenergy*, 10, 1, 37-40.

Jarde E., Mansuy L., Faure P., 2003. Characterization of the macromolecular organic content of sewage sludges by thermally assisted hydrolysis and methylation-gas chromatography-mass spectrometer (THM-GC/MS). *J. Anal. Appl. Pyrol.*, 68-69, 331-350.

Kakii K., Kitamura, S. Shirakashi, T. et al. 1986. Comparison of mucilage polysaccharides extracted from sewage activated sludge. *J. Ferment. Technol.*, 64, 1, 51-56.

Kéléké S. Kobawila, S C. Kalou B., et al 2004. Etude microbiologique des feuilles fermentées de manioc : "NtobaMbodi". *Tropicultura*. Volume 21

Klöpffer, W., 1996. Environmental hazard assessment of chemicals and products. Part V. Anthropogenic chemicals in sewage sludge. *Chemosphere*, 33, 1067-1081.

Komilis D P., Ham R K., Stegmann R., 1999. The effect of municipal solid waste pretreatment on land fill behavior: a literature review. *Waste Management and Research*, 17 1, 10–19.

Kouba A., Lunda R., Hlavac D., et al., 2018. Vermicomposting of sludge from recirculating aquaculture system using *Eisenia andrei* : Technological feasibility and quality assessment of end-products. *Journal of Cleaner Production*, volume 177, pp. 665-673.

Lal, R., *Encyclopedia of soil science*, second edition, volume 2. The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA, 2006, pp.1687-1690.

Lambkin, D., Nortcliff, S., White, T., 2004. The importance of precision in sampling sludges, biowastes and treated soils in a regulatory framework *Trends in Analytical Chemistry*, 23, 10-11.

Laurent G., 2018. LE DÉVELOPPEMENT DE L'AQUACULTURE EN ALGÉRIE EN COLLABORATION AVEC LA FAO – BILAN 2008-2016. Italie. 113p.

Lavelle et al., 1997. Soil function in a changing world: The role of invertebrate ecosystem engineers. Institut national de la recherche agronomique, Centre de Versailles-Grignon. 193p

LEBRES E., HAMZA A., 2002. Cours national d'hygiène et de microbiologie des aliments « Microbiologie des laits et produits laitiers », Institut Pasteur d'Algérie. 34p.

Lebres E., Hamza A. 2006. Etude de prévalence et analyse du risque de *Listeria monocytogenes* dans les laits crus dans la région centre. Thèse Doctorat en Sciences Vétérinaires. Option : Microbiologie. Centre Universitaire d'El Tarf, Algérie. 168 p.

Lebres, E., Hamza A., Mouffok, F. 2000. Enquête de listériose en Algérie. Recueil de la journée : Institut Pasteur d'Algérie face aux problèmes sanitaires de l'été, p. 11-22.

Lee, K.E., 1985. Earthworms their Ecology and Relationships with Soils and Land Use. Academic Press, Sydney.

Lega R., Ladwig G., Meresz O., et al. 1997. Quantitative determination of organic priority pollutants in sewage sludge by GC/MS. *Chemosphere*, 34, 1705-1712.

Looser M O., Parriaux A., Bensimon M., 1999. Landfill underground pollution detection and characterization using inorganic traces. *Water Research*, 33, 17, 3609-3616.

Lupton S., 2000. Les boues de station d'épuration urbaine : problèmes actuels de la filière d'épandage. In *Que faire des boues. une approche socio-économique du Club Environnement et Société*. Ecrin. Paris. 15-17.

Madeleine S., Peter D., Tim T., et al. 1990. La fabrication et l'utilisation du compost. 1ere édition. Wageningen. Pays-Bas. 69p.

Marttinen S K., Kettunen R H., Rintala J A., 2003. Occurrence and removal of organic pollutants in sewages and landfill leachates. *The Science of the Total Environment*, 301, 1-12.

McBride M B., 2003. Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks?. *Advances in Environmental Research*, 8, 5-19.

Mechai A., 2009. Isolement, caractérisation et purification de bactériocines produites par des bactéries lactiques autochtones : études physiologiques et biochimiques. Thèse de doctorat en Biochimie, Université de Annaba, 99p.

Mininni G., Sbrilli A., Guerriero., et al. 2004. Dioxins and furans formation in pilot incineration tests of sewage sludge spiked with organic chlorine. *Chemosphere*, 54, 1337-1350.

Nammari D R., Hogland W., Marques M., et al., 2004. Emissions from a controlled fire in municipal solid waste bales. *Waste Management*, 24, 9-18.

Navoun S. 2005. Thermorésistance de trois serotypes de Salmonella dans l'oeuf et les gésiers de poulets. Université Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, Afrique

Nyabyenda P. 2005. Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. Les presses agronomiques Gembloux. Belgique. 197p.

Office International de l'Eau, 2001. développer les compétences pour mieux gérer l'eau la stabilisation des boues de station d'épuration : techniques de mesure de la pollution. Disponibles sur : <https://www.oieau.fr>

Office National de l'Assainissement. (ONA, 2014). Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie.

Pérez S., Guillamón M., Barceló D. 2001. Quantitative analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in sewage sludge from wastewater treatment plants. *Journal of Chromatography A*, 938, 1-2, 57-65.

Perón J Y., 2004. Références de production des légumes. C. Lavoisier, édition 2, 613p.

PERON J Y., 2006. Production légumières. 2^{ème} édition. Lavoisier. 389 p.

Pilet C., Bourdon J. L., Bernard T., Nelly M., Balbastre C., Person J -M. 1987. Bactériologie médicale et vétérinaire : systématique bactérienne. Gaston Doin & Cie. Paris.

Prevot H., 2000. La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du Conseil général des mines.

Rejsek F. 2002. Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques. Canopé - CRDP de Bordeaux. Collection : BIOLOGIE.

Rida, A. M. A. 1994. "Les vers de terre et l'environnement". *La recherche*, vol. 25, p. 260-267.

Rodier J., Bernard L., MERLET N. et al. 2009. L'analyse de l'eau. 9^{ème} édition. DUNOD. Paris.

RODIER J., BAZIN C., CHANBON P., et al. 1996. L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 8^{ème} Ed. Dunod, Paris : 1383p.

Rouse V., Pleijel F., Rouse G W., et al. 2007. A molecular phylogeny of annelids. *Cladistics*. 23, 41-63.

Sahlström L., Aspan A., Bagge E., et al. 2000. Environmental Toxicology and chemistry. Importance of contamination history for understanding toxicity of copper to earthworm *Eisenia fetica* (Oligochaeta: Annelida), using neutral-red retention assay. *Volume 19, Issue 7*. Pages 1774-1780

Semple K T., Reid B J., Fermor T R., 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. *Environmental Pollution*, 112, 269-283.

Souna D., 2011. Epidémiologie de la résistance aux antibiotiques au niveau du C.H.U de sidi Bel Abbes. Université Abou bekr belkaid- Tlemcen.148p.

Su D C., Wong J., Jagadeesan H., 2004. Implications of rhizospheric heavy metals and nutrients for the growth of alfalfa in sludge amended soil. *Chemosphere*, 56, 10, 957-965.

Tfyeche L, 2014. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux usées de Ouargla au cours de leur traitement. Mémoire master professionnel en Sciences Techniques. Université KasdiMerbah, Ouargla, 47p.

Tham M., Albihn A., 2004. Bacterial pathogen incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. *Water Research*, 38, 1989-1994.

Thimy D H., 2009. Impact des métaux lourds sur les interactions plante/ver de terre/microflore tellurique. Paris. 151p

Thorn K A., et al. 1983. Antinutritional factors in legumes of the Sonoran Desert. *Ecol. Food Nutr.*

UGHETTO INERIS. 2012. Panorama des projets de recherche et perspectives sur la problématique des micropolluants dans les boues de stations de traitement des eaux urbaines.

Vallod D., Sarrazin B., 2010. Caractérisation de l'effluent de vidange d'un étang de pisciculture extensive. *Hydrological Sciences Journal* 55, 394-402.

Vigot M., Cluzeau D., 2014. Guide pratique auxiliaires de cultures Comprendre et reconnaître les vers de terre Les vers de terre. Chambre d'Agriculture de la Vienne. 19p

Vincent D., 2011. Lombricompost Toutes les méthodes geste par geste. Rustica. Allemagne. 80p.

Warman et al., 2005. The influence of municipal solid waste compost on yield, soil phosphorus availability and uptake by two vegetable crops grown in a Pugwash sandy loam soil in Nova Scotia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 67 p.

Warman P R., Termeer W C. Evaluation of sewage sludge, septic waste and sewage sludge compost applications to corn and forage: Yields and N, P, and K content of crops and soils. Bioresour. Technol., in press. 2005

Werther J., Ogada T., 1999. Sewage sludge combustion. Progress in Energy and Combustion Science, 25 55–116.

Xing M., Chunhui Z., Yung J. 2016. Physiological adaptation and metabolic property of earthworms in vermifiltration for liquid-state sludge stabilization using bulk stable isotope values. Ecological Engineering. Institut of biofilm Technologie. Chine. 91 1-6.

Xing M., Lu Z., Yang J., et al. 2012. Effect of earthworms on the performance and microbial communities of excess sludge treatment process in vermifilter. Bioresource technology Tongji university. China. 117, 214-221.

Zebarth B J., McDougall R., Neilsen G., Neilsen D., 2000. Availability of nitrogen from municipal sewage sludge for dryland forage grass. Can. J. Plant Sci. 80, 575–582.

Site Web

<https://www.sidesa.fr> (Consulté le 18.05.2019)

<https://doi.org/10.1002/ldr.696> (Consulté le 12.04.2019)

<http://www.environnement.gouv.fr> (Consulté le 15.04.2019)

<https://ecobiosoil.univ-rennes1.fr> (Consulté le 27.02.2019)

<Versdeterre.fr> (Consulté de 16.05.2019)

<www.ecrin.asso.fr> (Consulté le 03.05.2019)

<www.fao.org> (Consulté le 20.03.2019)

<www.oecd.org> (Consulté le 20.03.2019)

Annexe 1

Matériel non biologique

Verrerie	Appareillage	Autre matériel
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tubes à essai. ➤ Tubes à sec. ➤ Béchers. ➤ Pipettes graduées. ➤ Pipettes Pasteur. ➤ Flacons. ➤ Lames. ➤ Cuves. ➤ Récipients cylindriques. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Étuve. ➤ Autoclave. ➤ Réfrigérateur. ➤ Four à moufle. ➤ Bain marie. ➤ Microscope Optique (objectif à immersion). ➤ Centrifugeuse. ➤ Spectrophotomètre. ➤ Conductimètre HANNA instruments EC215. ➤ PH mètre BOECO Germany BT-675 . 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Bec Bunsen. ➤ Anse de platine. ➤ Boîtes de Pétri. ➤ Portoirs. ➤ Four Pasteur. ➤ Balance. ➤ Agitateur et barreau magnétique. ➤ Tamis. ➤ Pots. ➤ Alvéoles. ➤ Règle. ➤ Râteau. ➤ Tube d'EPA. ➤ Galerie API 20NE. ➤ Cloche de Durham.
Matériel de prélèvement		Réactifs
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plongeur. ➤ Canne à prélèvement. 		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eau distillée. ➤ Acétone. ➤ Gélose TAGEA. ➤ Milieu liquide NPP. ➤ Milieu BCPL. ➤ Milieu de Rothe. ➤ Milieu Eva-Litsky. ➤ Gélose VF. ➤ Alun de fer. ➤ Sulfite de sodium. ➤ Milieu Hektoen. ➤ Milieu Chapman. ➤ Milieu GNAB. ➤ Milieu Cétrimide. ➤ Milieu King A et B. ➤ Milieu Citrate de Simmons. ➤ Gélose SS. ➤ Milieu Mac-conkey. ➤ Eau peptonée alcaline (EPA). ➤ Violet de Gentiane. ➤ Lugol. ➤ Fushine. ➤ peroxyde d'hydrogène (H₂O₂). ➤ milieu Mannitol-mobilité. ➤ Huile de vaseline.

Annexe 2

Station d'épuration des eaux usées Chenoua :

Les boues résiduelles de STEP étaient fournies par la station d'épuration des eaux usées de CHENOUA (Tipaza). D'après SEAAL, Elle est mise en service en Janvier 2008, la STEP de Chenoua a une capacité de 70.000 Eq.Hab. Pour débit de $11.200\text{m}^3/\text{j}$. Cette station a reçu en moyenne $5.400\text{ m}^3/\text{jour}$ en 2013 et produit 1.300 tonnes de boues à 24.4 % de siccité. Les performances de traitement permettent de garantir une conformité du rejet de 100% sur 2013 et un rendement d'élimination de la pollution supérieur à 93%.



Figure 21 : Station d'épuration Chenoua Tipaza (Google earth 2019).

Ferme d'élevage de poisson d'eau douce Harreza :

Elle est située à Djelida à la wilaya de Ain Defla, près du barrage Harreza, au niveau de l'annexe CNRDPA. Elle est mise en service depuis 2014. Ça capacité est de 10 tonnes/an de poisson de consommation, elle produise 10 millions d'alevins multi-espèce/an. Elle est constituée de 10 étangs artificiels. Elle produise 4 poissons d'eau douce : Le crabe chinois, Tilapia rouge, Black-bass, les anguilles.



Figure 22 : La ferme d'élevage de poisson d'eau douce de Harreza. (google earth 2019).

Annexe 3

Tableau 1 : Résultats de la caractérisation physico-chimique du sol

Paramètre		valeur
pH		8.29
C.E à 25°C (us)		144.76
Phosphore (ppm)		76.57
Potassium (ppm)		2.58
Granulométrie (%)	Argile	5.69
	Limon fin	0.27
	Limon grossie	5.75
	Sable fin	42.27
	Sable grossier	46.02
Carbone organique (%)		3.96
Matière organique (%)		6.81

Annexe 4

Les résultats bactériologiques des boues de la STEP et d'aquaculture



Figure 23 : les germes revivifiables

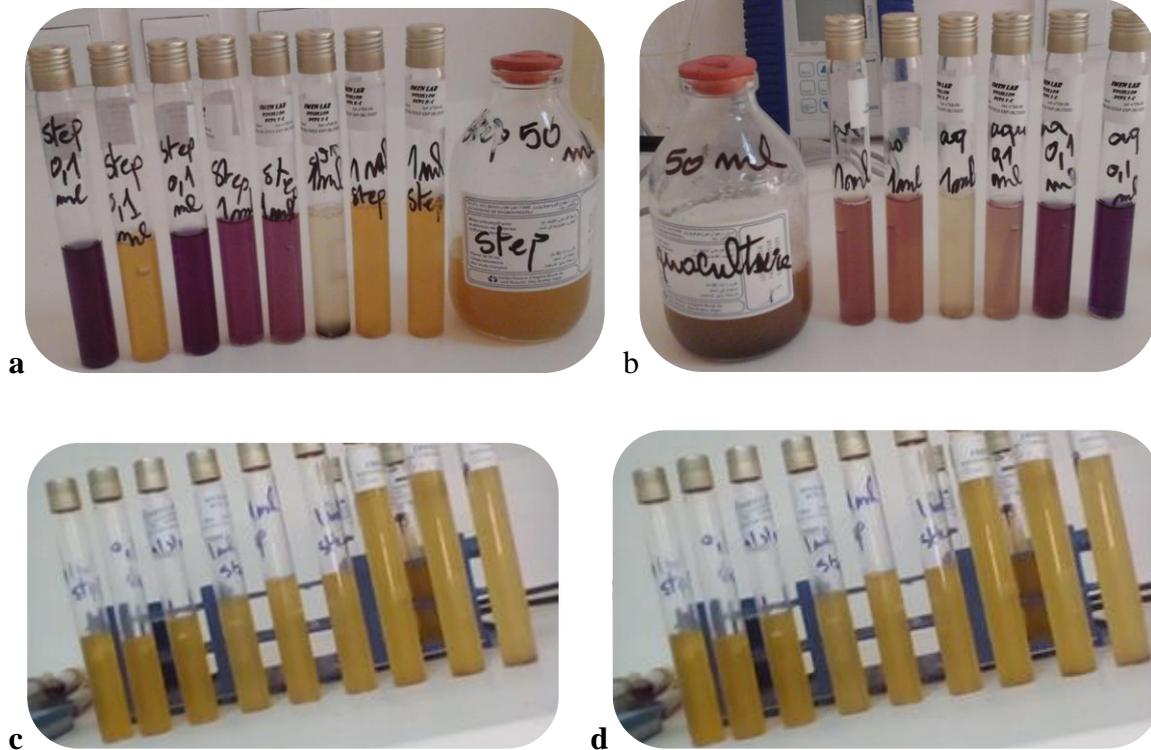


Figure 24 : les coliformes totaux (a : boue de la STEP composté ; b : boues d'aquaculture composté ; c : boue de la STEP ; d : boue d'aquaculture).

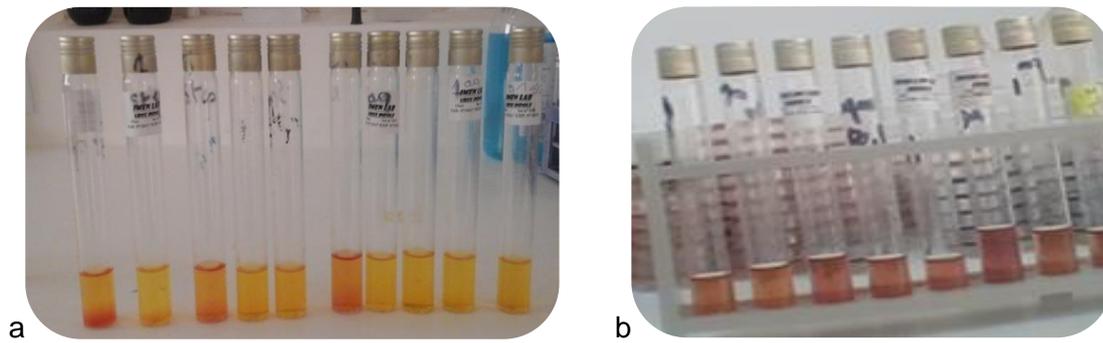


Figure 25 : les coliformes fécaux a : de la STEP et d'aquaculture composté ;
 b : de la STEP et les boues d'aquacultures)

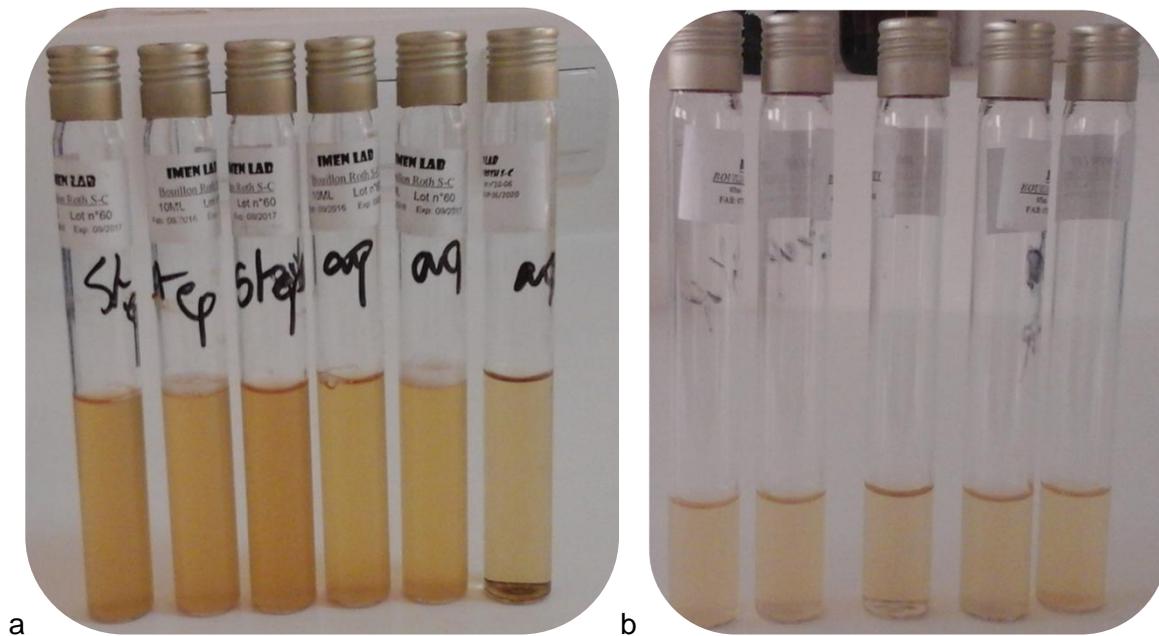


Figure 26 : Les streptocoques (a/ les streptocoques totaux ; b/les streptocoques fécaux)

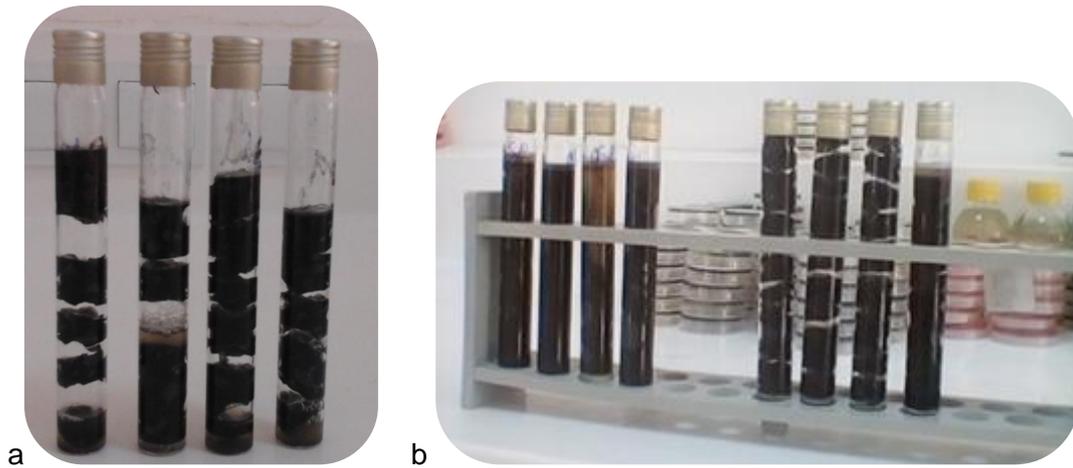


Figure 27 : Les sulfito-réducteurs (a : les boues composté d'aquaculture et de la STEP ; b : les boues d'aquaculture et les boues de la STEP).



Figure 28 : les staphylocoques dans les boues de la STEP

Identification de l'espèce de Staph :

On n'a pas pu identifier l'espèce exacte à cause de l'insuffisance des réactifs au laboratoire d'hygiène, alors le logiciel API Staph nous a donné une estimation plus proche de la table d'estimation.

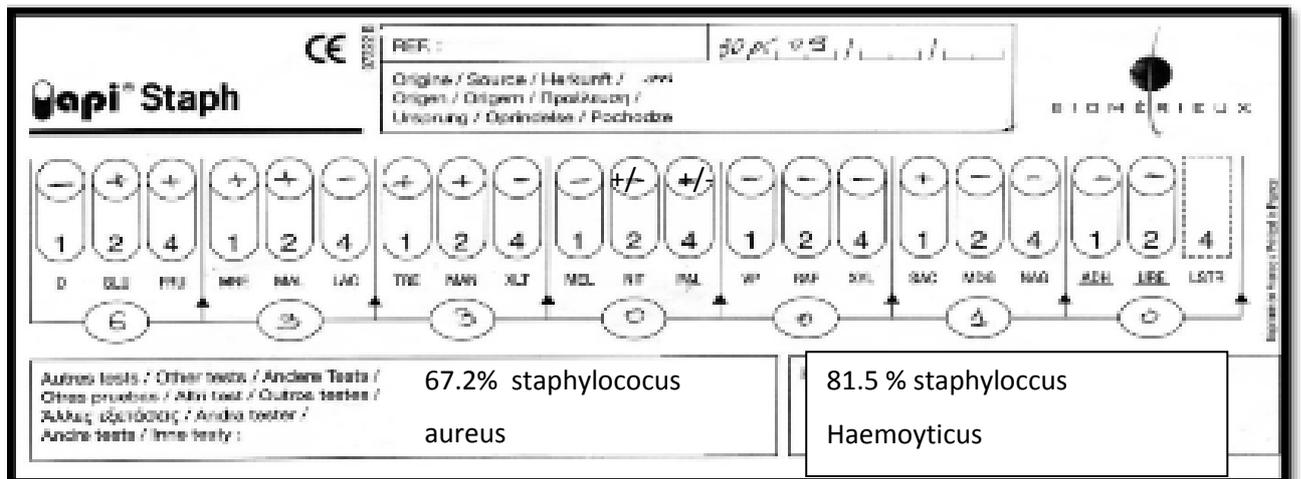


Figure 29 : imprimé de logiciel API STAPH