

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des sciences biologiques de l'environnement
Filière : Sciences de l'environnement
Option : Environnement et santé publique



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Effet des boues activées sur quelques
paramètres morpho-physiologiques de
jeunes plants de *Vicia faba* var.
minor**

Présenté par :

Abdelli Nadjoua & Azzouz Zahra

Soutenu le : **13 Juin 2016**

Devant le jury composé de :

M^{me} KHERBOUCHE D.	MCB	Présidente
Mr: RAMDANI N.	MAA	Encadreur
Mr : BENADJAOUD A.	MCB	Examineur

Année universitaire : 2015 / 2016

Remerciements

Nous tenons particulièrement à remercier notre promoteur M^r RAMDANI N. pour avoir accepté de nous encadrer, pour la confiance qu'il nous a faite, pour les conseils qu'il nous a accordés tout au long de la réalisation de ce modeste travail. Qu'il trouve ici nos sentiments de gratitude et l'expression de notre vive reconnaissance.

Nos remerciements vont aussi M^{me} KHERBOUCHE D. d'avoir accepté de présider le jury de notre mémoire.

Nous remercions également M^r BENADJAUD A. d'avoir accepté de juger ce travail.

Nos Vifs remerciement pour M^r BELHADI D. pour leur aide et leurs précieux conseils.

Sans oublier les membres du laboratoire de biologie des Sols : M^{me} RAMDANI et M^e Me soudaine FOZIA pour leur disponibilité, leur sympathie et leur gentillesse, ainsi que tous les enseignants qui ont contribué a notre formation, qu'ils retrouvent à travers ce mémoire le fruit de leurs longues années de travail.

Nos sentiments de reconnaissances et nos remerciements vont également à l'encontre de toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement à la réalisation de ce travail.

Zahra et Nadjoua

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A ma très chère mère qui est la lumière de ma vie, et qui a attendu avec Patience le fruit de sa bonne éducation ;

A mon très cher père qui m'a éclairée mon chemin et qui m'a encouragé et

Soutenu tout au long de mes études ;

Que le dieu leur présente une bonne santé et une longue vie.

*A mon adorable grande mère ;
Avec mes souhaits d'une longue vie.*

A mes cher frères : Mohamed ,Salime,Ilyase ,Walide ;

Merci pour vos prières et votre soutien sans faille. Que l'esprit d'amour règne toujours au milieu de nous.

Ma grande famille.

A mes cousins, cousines et toute la famille Abdelli

Mes amis et tous ceux qui me sont chers.

Je ne citerai pas de nom pour qu'il n'y a pas de jaloux et de n'oublier personne.

A mon binome Zahera ,et toute sa famille.

A tous mes collègues de promotion ESP.

A tous ceux qui m'aimes et j'aime, merci pour tous.

A tous mes enseignants ; Pour avoir contribué à ma formation.

Nadjoua

SOMMAIRE

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des tableaux et figures

Pages

INTRODUCTION.....1

CHAPITRE I : Synthèse bibliographique

I. GENERALITES SUR LES BOUES RESIDUAIRES.....	4
1. Définition des boues.....	4
2. Les phases de traitement des eaux usées urbaine.....	4
2.1. Prétraitement de l'eau.....	4
2.1.1. Dégrillage-tamassage.....	4
2.1.2. Dessablage.....	4
2.1.3. Dégraissage et déshuilage.....	5
2.2. Les traitements mécaniques.....	5
2.2.1. Décantation.....	5
2.2.2. Filtration.....	5
2.2.3. Flottation.....	5
2.3. Traitements physico-chimiques.....	5
2.4. Traitements biologiques.....	6
3. Origine et les différents types de boues.....	7
3.2. Les boues primaires.....	7
3.3. Les boues biologiques ou secondaires.....	7
3.4. Les boues physico-chimiques.....	7
3.5. Les boues mixtes.....	8
3.6. Les boues d'aération prolongée.....	8
4. Composition et traitement des boues résiduares.....	8
4.1. Composition des boues résiduares.....	8
4.2. Traitement des boues résiduares.....	9

4.2.1. Epaissement des boues.....	10
4.2.2. Déshydratation des boues.....	10
4.2.3. Le Séchage.....	10
4.2.4. Stabilisation des boues.....	11
4.2.5. Pasteurisation des boues.....	11
4.3. Devenir des boues.....	11
5. Valorisation agricole des boues d'épuration.....	12

II. LES LEGUMINEUSES.....13

1. Généralités.....	13
2. Importance.....	13
3. LA FEVE : <i>Vicia faba</i> (L.).....	14
3.1. Présentation de la fève.....	14
3.2. Classification botanique de la fève	15
3.3. Intérêts de la fève.....	16
3.3.1. Intérêts économique.....	16
3.3.2. Importance agronomique.....	16
3.3.3. Intérêt nutritionnel.....	17
3.3.4. Intérêts écologique.....	18

CHAPITRE II : Matériels et méthodes

1. MATERIELS.....	19
1.1. Le sol.....	19
1.2. Les boues.....	19
1.3. Le matériel végétal.....	20

2. METHODES.....	21
2.1. Analyses physico –chimiques des sols et des boues.....	21
2.1.1. Les Analyses physiques.....	21
2.1.1.1. Mesure de l’humidité résiduelle.....	21
2.1.1.2. Analyse granulométrique.....	21
2.1.1.3. Le pH.....	22
2.1.1.4. Conductivité électrique (CE).....	22
2.1.2. Les analyse chimiques.....	22
2.1.2.1. Dosage de calcaire total (CaCO ₃).....	22
2.1.2.2. Dosage du calcaire actif.....	22
2.1.2.3. Dosage de l’azote total.....	23
2.1.2.4. Dosage du carbone organique.....	23
2.1.2.5. Dosage du phosphore assimilable.....	23
2.1.2.6. Capacité d’échange cationique (C.E.C).....	23
2.1.2.7. Dosage des bases échangeables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺).....	24
2.2. Etude de l’effet des boues sur le développement de la fèveole.....	24
2.2.1. Conduite de l’essai.....	24
2.2.1.1. Préparation des pots.....	24
2.2.1.2. Préparation des graines.....	24
2.2.1.3. Germination des graines.....	25
2.2.1.4. Protocole expérimental.....	25
2.2.1.5. Mise en culture des plantes.....	25
2.2.1.6. Conditions de culture.....	25
2.2.1.7. Dispositif expérimental.....	26
2.3. Paramètre mesurés.....	26
2.3.1. Mesures des paramètres biométriques.....	27

2.3.1.1. Les longueurs.....	27
2.3.1.2. Poids frais (Pf).....	27
2.3.1.3. Poids secs (Ps).....	27
2.3.1.4. La matière sèche (MS).....	27
2.3.1.5. La surface foliaire (Sf).....	27
2.3.2. Mesures des paramètres éco-physiologiques.....	27
2.3.2.1. La teneur en eau (TE).....	27
2.3.2.2. Dosage des pigments chlorophylliens.....	27
2.3.2.3. Dosage de la proline.....	28
2.3.3. Mesure des paramètres de la nutrition minérale.....	28
2.3.3.1. Dosage de l'azote total (N) des plantes.....	28
2.3.3.2. Dosage du phosphore (P) et de potassium (K ⁺).....	29
2.4. Effet des boues sur les caractères physico-chimiques du sol.....	29
2.5. Analyse statistique.....	28
 CHAPITRE III : Résultats et discussions	
I. Caractérisation physico –chimique des sols.....	30
II. Caractérisation physico –chimique des boues.....	32
III. Effet des boues sur le développement des plantes de <i>Vicia faba</i> L.....	34
1. Paramètres morphologiques.....	34
2. Paramètres physiologiques.....	36
3. Paramètres de la nutrition minérale.....	39
IV : Effet des boues sur les paramètres physico-chimique des sols.....	42
CONCLUSION.....	44
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	45

ANNEXES

Liste des Abréviations

A : Argiles.

ADEME : Agence de l'environnement et la Maitrise de l'Energie, France.

AMORCE : Association nationale des collectivités, des associations et des entreprises pour la gestion des déchets, de l'énergie et des réseaux de chaleur France.

BBA : Bordj-Bou-Arreidj.

C: Carbone total.

Ca⁺²: Calcium.

CO: Carbone organique.

CREAB MP : Centre Régional de Recherche et d'expérimentation en agriculture Biologique de Midi-Pyrénées en France.

EDTA : Acide éthylène diamine tétra-acétique.

ETM : éléments trace métalliques.

ETO : éléments traces organique.

F.A.O: Food and Agriculture Organisation.

H : Humidité.

ITAB : Institut Technique la culture Biologique.

K⁺ : Potassium.

Lf : Limons fins.

Lg : Limons grossier.

LPA : Longueurs des parties aériennes.

LPR : Longueurs des parties racinaires.

Meq : Milliéquivalent .

MO : Matières Organiques.

MRF : Matière résiduelles fertilisantes.

MS : Matière sèche.

N : Azote.

Na⁺ : Sodium.

ONA : Office national d'assainissement.

PA : Partie Aérienne.

Pf : Poids frais.

ppm : partie par million.

Ps : Poids sec.

Sf : Sables fins .

SF : Surface Foliaire.

Sf : Surface foliaire.

Sg : Sables grossiers.

STEP : Station d'épuration des eaux usées.

TE : La teneur en eau.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Composition des boues.....	09
Tableau II : Composition en éléments fertilisants de 5 grandes types de boues.....	12
Tableau III : Composition comparée des graines de légumineuses protéagineuses et du grain de blé.....	14
Tableau IV : Les nutriments contenus dans 100 g des graines sèches de la fève.....	17
Tableau V : Caractéristique physicochimique du sol de BBA.....	30
Tableau VII : Effet des boues sur les paramètres morphologiques de <i>Vicia faba</i> L.....	32
Tableau VIII : Effet des boues sur les paramètres physico-chimiques du sol.....	34

LISTE DES FIGURES

Figure 01 : Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration.....	07
Figure 02 : (a) Graines de <i>Vicia faba major</i> , (b) Graines de <i>Vicia faba minor</i> , (c) Graines de <i>Vicia faba equina</i>	15
Figure 03 : Site d'échantillonnage du sol.....	19
Figure 04 : Les boues utilisées.....	20
Figure 05 : Graines de <i>Vicia Faba</i> (L.) var. <i>minor</i> utilisées.....	20
Figure 06 : Dispositif expérimental de l'essai.....	26
Figure 07: Effet des boues sur la surface foliaire des plantes de <i>Vicia faba</i> L.....	36
Figure 08 : Effet des boues sur les teneurs en proline dans les plantes.....	37
Figure 09 : Effet des boues sur les teneurs en chlorophylle totale dans les plantes de <i>Vicia faba</i> L...	38
Figure 10: Effet des boues sur la teneur en eau des plantes de <i>Vicia faba</i> L.....	39
Figure 11 : Effet des boues sur le contenu azoté dans les plantes de <i>Vicia faba</i> L.....	40
Figure 12: Effet des boues sur la teneur de phosphore dans les plantes de <i>Vicia faba</i> L.....	41
Figure 13 : Effet des boues sur la teneur de potassium dans la plantes de <i>Vicia faba</i> L.....	42

Introduction

INTRODUCTION

L'homme rejette beaucoup de déchets sous forme solide, liquide ou gazeuse. Par ailleurs, l'industrialisation galopante, l'élévation du niveau de vie, les déficits pluviométriques enregistrés au cours de la dernière décennie, ont fait que la demande en eau de qualité est de plus en plus grande, accompagnée le plus souvent de rejets de quantités énormes d'eaux usées.

L'Algérie est connue par ses conditions climatiques très défavorables, du fait qu'elle est située en zones semi arides et arides. Elle dépend entièrement pour son alimentation en eaux de ruissellement, des oueds dont on connaît les régimes capricieux et l'irrégularité des précipitations qui les alimentent. En plus, l'augmentation de la population et l'évolution des modes de vies, des besoins de plus en plus importants en eau se font sentir, d'où le recours au recyclage des eaux usées non seulement à l'alimentation en eau potable des humains et des animaux mais aussi pour l'agriculture et l'industrie (FAO, 2007).

L'importance des eaux non conventionnelles augmente au fur et à mesure qu'il ya déficit hydrique. La quantité des eaux usées traitées dans le monde arabe a été estimée à sept milliards de mètre cube en l'an 2000 (ACSAD, 2000). En Algérie, le volume d'eau épurée par les STEP, exploitées uniquement par l'Office National de L'Assainissement (ONA), est passé de 27 ,13 millions de m³ en 2003, à environ 115,58 millions de m³ en 2011 (ONA, 2014).

Devant cette situation et pour satisfaire les besoins en eaux des différents secteurs, l'épuration des eaux usées semble être la solution la plus fiable. Les eaux usées doivent donc subir, avant leur rejet dans le milieu naturel, un traitement d'épuration qui conduit à la production des boues résiduares. La production des boues, augmente avec le développement de la station d'épuration.

Un problème majeur consiste à trouver une solution pour éliminer ces résidus dans les conditions les plus économiques tout en respectant les contraintes liées à la protection de l'environnement et l'hygiène publique.

L'élimination et le traitement des boues résiduares importe jusqu'à 50% des couts de fonctionnement d'une usine d'épuration des eaux, et représente l'un des plus grands problèmes auxquels les ingénieurs sanitaires doivent faire face aujourd'hui (Grenier, 1989).

Plusieurs solutions qui peuvent être qualifiées de finales pour éliminer les boues d'épuration ont été envisagées. Au Royaume-Uni, 67 % des boues produites sont épandues sur les terres (2/3, en valorisation agricole et 1/3 en revalorisation des cités et en remplissage), 29% sont larguées en mer et 4 % incinérées (Grenier, 1989).

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

Le recyclage par épandage est en général le plus économique que l'élimination. En effet, les boues doivent être considérées comme une matière première qui peut être réutilisée.

Ces boues sont riches en matière organique, en éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) et en oligo-éléments (Zinc, Fer, Cuivre, Manganèse) (I.R.N.A, 1980). L'utilisation des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines en sylviculture semble à priori, poser moins de problèmes qu'en agriculture, en effet, les risques de toxicité vis-à-vis de l'homme par exemple, par passage de métaux lourds dans la chaîne alimentaire.

Cependant, leur simple mise en décharge est un gaspillage, alors qu'on peut bénéficier de leur capacité fertilisante, cette possibilité de valorisation se heurte en pratique à l'inquiétude manifestée par les hygiénistes et les agriculteurs.

Le recyclage ou valorisation agricole des boues après compostage contribue à la correction des carences minérales et à la régénération de la fertilité des sols appauvris, ceci à travers la réintégration des éléments minéraux dans les sols, ce qui permet de se rapprocher des cycles naturels (de Bertoldi et *al.*, 1983). Des études ont montré que l'épandage de ces boues dans des parcelles agricoles ont permis d'augmenter significativement les rendements des cultures et d'améliorer la fertilité des sols (Salaheddine, 2005; Scheiner, 2005; Madrieres et Mohen, 2012). Néanmoins, leur utilisation ne doit pas se faire sans s'être assuré de leur hygiénisation, de leur stabilisation et de leur maturité.

Les boues doivent être exemptes de phytotoxicité, avec des teneurs en métaux lourds et en micropolluants organiques inférieures aux normes internationales en vigueur.

La valorisation des boues résiduelles par épandage semble le moyen le plus efficace, du point de vue économique, à savoir que cette pratique a un double objectif :

- Mettre à profit les capacités biologiques naturelles des sols pour « digérer » les boues et réintroduire les éléments dans les cycles naturels,

- Valoriser les propriétés fertilisantes des boues résiduares pour les cultures

Le travail que nous présentons est une contribution à l'étude de la possibilité de valorisation des boues résiduares de la station d'épuration de la ville de Bejaia, comme amendement organique pour la croissance d'une culture de fève (*Vicia faba* L.), largement cultivée en Algérie.

Cette étude a pour objectifs essentiels :

- L'évaluation des caractéristiques physico-chimiques des boues de la station d'épuration de la ville de Bejaia.
- L'étude de l'effet de ces boues sur le développement de la fève (*Vicia faba* L.), ceci dans le but de conclure sur la possibilité de leur utilisation comme amendement organique voir comme engrais intéressant à recycler en agriculture.

Synthèse
Bibliographique

I. GENERALITES SUR LES BOUES RESIDUAIRES

1. Définition des boues

Les boues, appelées aussi bio solides, sont définies comme étant un mélange d'eau et de matière solides, séparées par des procédés naturels ou artificiels de divers types d'eau qui le contiennent. Elles résultent du traitement des eaux usées dans des stations d'épuration urbaines, des fosses septiques domestiques, commerciales ou urbaines, des stations d'épuration industrielles, des usines de filtration ou de traitement de l'eau potable.

Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration ou elles sont traitées. En fin de traitement, à la sorties de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste des sous-produits désignés sous le terme de boues résiduelles (Werther et Ogada, 1999). Ces boues représentent avant tout une matière première composée d'eau, de différents éléments composés de matière organique, d'éléments fertilisants (N, P, K...), d'éléments traces métalliques (ETM), d'éléments traces organiques (ETO) et d'agents pathogènes (Bousselhaj, 1996).

2. Les phases de traitement des eaux usées urbaines

Généralement, le traitement des eaux usées au sein d'une station d'épuration conduit à la production des boues résiduelles. L'épuration des eaux usées urbaines comporte d'après Amorce (2012) quatre étapes successives (Figure 01) :

2.1. Prétraitement de l'eau

Il s'agit d'éliminer les éléments grossiers (dégrillage-tamissage), d'enlever les sables (dessablage) ainsi que les graisses (désuilage).

2.1.1. Dégrillage-tamissage

IL S'agit d'éliminer les éléments de grandes dimensions qui se trouvent dans l'eau d'égout brute (chiffons, matières plastiques,...) et qui pourraient perturber le fonctionnement hydraulique de la station .pour ce faire, on intercale une grille, dont les barreaux ont un écartement de l'ordre du centimètre. (Brame, 1986). Le tamissage est un dégrillage poussé utilisé dans les stations d'épuration industrielles. Il consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. Il existe un macro-tamissage (mailles > 0.3mm) et un tamissage fin (mailles < 100µm) (Duchene, 1990).

2.1.2. Dessablage

Le dessablage a pour but d'extraire des eaux brutes les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines, de façon à éviter les dépôts dans les canaux et conduits, à

protéger les pompes et autres appareils contre l'abrasion et éviter de perturber les stades de traitement suivants (Morel, 1977).

2.1.3. Dégraissage et déshuilage

C'est l'extraction des corps flottants, moins denses que l'eau, par une aération qui fait remonter les huiles et graisses en surface, qui seront enlevées par écumage (Brame, 1986). C'est une opération de séparation liquide-liquide, alors que le dégraissage est une opération de séparation solide-liquide (à la condition que la température de l'eau soit suffisamment basse, pour permettre le figeage des graisses). Ces deux procédés visent à éliminer la présence des corps gras dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité du traitement biologique qui intervient ensuite (Degremont, 1978).

2.2. Les traitements mécaniques

Ils comportent des procédés de décantation, de filtration et de flottation.

2.2.1. Décantation

Elle permet une séparation de deux phases liquide–solide par simple gravité (Kormanik, 1977). La décantation primaire permet la capture, par précipitation, des éléments en suspension de diamètre inférieur à 2mm. Les matières en suspension, organiques ou non, se déposent dans le fond du bassin simplement par simple gravité. Elles y sont raclées et évacuées formant ainsi les boues primaires.

2.2.2. Filtration

Son but majeur est la clarification finale de l'eau ; elle permet la séparation des matières colloïdales et les mucilages solides du liquide, au moyen de filtres biologique dont les mailles sont assez larges (Duchene, 1990).

2.2.3. Flottation

Elle se passe dans les conditions où la masse volumique des particules est inférieure à celle du milieu. On les élimine par flottaison avec ou sans adjonction de polymères. De fines bulles d'air sont injectées à la base du bassin pour favoriser la remontée des boues et ces dernières sont éliminées par un raclage de surface (Mahma Sid –Ali, 1995).

2.3. Traitements physico-chimiques

Les eaux prétraitées sont additionnées de réactifs chimiques, flocculants ou coagulants (poly électrolytes, chaux ...) qui agglomèrent les particules solides sous formes de flocons. Après une décantation, une décantation sépare ensuite l'eau et les boues.

Le traitement physico-chimiques permettent d'agglomérer ces particules par adjonction d'agents coagulants et flocculant (sels de fer ou d'alumine, chaux).les amas de particules ainsi formés, ou floccs, peuvent être séparés de l'eau par décantation ou par flottation.

Les sels de fer ou d'aluminium et la chaux sont couramment utilisés pour les eaux usées urbaines à des concentrations de l'ordre du décigramme par litre alors que les poly électrolytes naturels (alginates) ou de synthèse donnent de bons résultats pour des teneurs de l'ordre du milligramme par litre ,le cout élevé de ces derniers conduit généralement à l'utilisation simultanée des agents de floculation organique et minéraux.

La présence des sels minéraux dans les boues augmente le volume et le poids, ceci aura évidemment une influence sur les traitements ultérieurs des boues (Mathian, 1986).

2.4. Traitements biologiques

Dans cette opération, les microorganismes sont la base du traitement par l'utilisation des composés organiques comme substrat nutritif (Vedry, 1975). Il s'agit de réduire la charge en matière organique de l'eau usée par des micro-organismes regroupés en « floccs » et production de boues dites « activées ». Cette phase nécessite une aération conséquente. Les eaux usées décantées sont aérées par des turbines agissant sur la surface de l'eau ou par des rampes d'air comprimé ou d'oxygène au fond d'un bassin. Après ce traitement, les eaux sont à nouveau décantées.

Le traitement biologique permet la biodégradation des matières organiques des eaux usées grâce à des bactéries aérobies ou anaérobies dans des systèmes suivants :

- *Système intensif* à cultures fixes telles que les lits bactériens et les disques biologiques ou à cultures libres telles que les boues activées.

- *Système extensif* dont le plus répandu et le plus classique est le lagunage surtout dans les pays à climat chaud et où le terrain est disponible à coût raisonnable. Il consiste en un lent écoulement de l'affluent dans un ou plusieurs réservoirs plus ou moins profonds.

Après toutes ces opérations, l'eau traitée est alors rejetée dans le milieu naturel, tandis que les boues résiduelles sont collectées puis traitées en vue de leur valorisation ou de leur élimination.

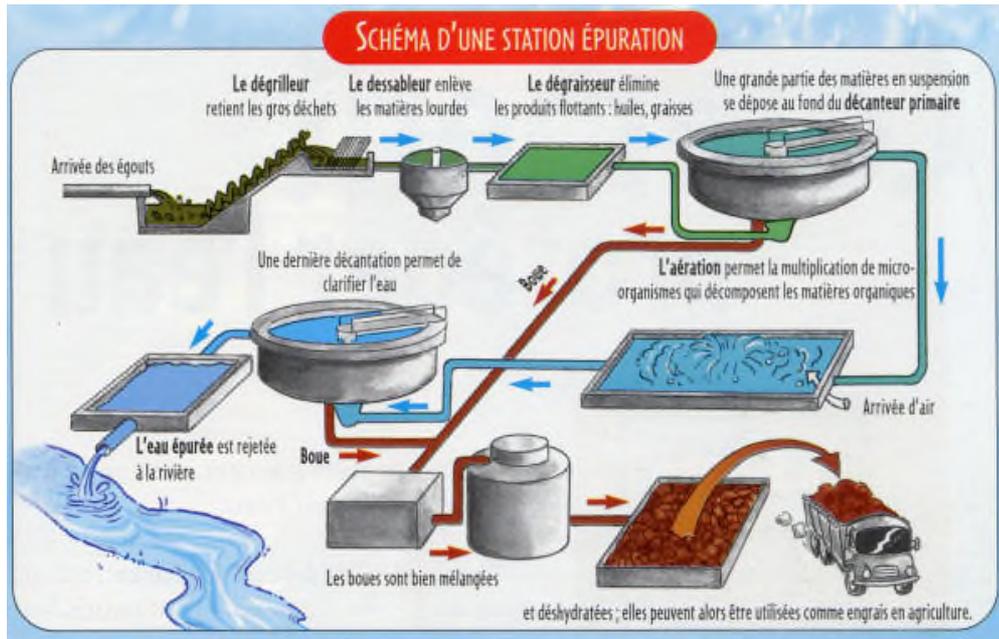


Figure 01: Schéma de fonctionnement d'une station d'épuration (source ADEME,2012).

3. Origine et les différents types de boues

La production des boues représente la dernière et incontournable étape de traitement des eaux usées. Selon l'origine, on pourra distinguer les types de boues suivantes (ADEME,1999)

3.1. Les boues industrielles

C'est l'ensemble de déchets liquides, pâteux ou solides sortant du site de production.

3.2. Les boues primaires

Elles sont obtenues par simple décantation d'un résidu insoluble. Ces boues correspondent à la pollution particulaire directement décantable. Elles sont produites par les industries de la cellulose, les industries de traitement des métaux, des minerais, les industries agroalimentaires générant des déchets fibreux.

3.3. Les boues biologiques ou secondaires

Elles sont issues d'un bassin aéré ou d'une cuve anaérobie, des industries chimiques et pharmaceutiques, agroalimentaires (laiteries, boissons...), textiles et, plus généralement, de toute industrie rejetant de la pollution organique biodégradable. Elles sont essentiellement constituées de bactéries et sont très organiques et peu concentrées (Murillo, 2004).

3.4. Les boues physico-chimiques

Elles sont générées par l'ajout d'un réactif injecté soit au début de traitement, soit en traitement de finition. On retrouve souvent dans ces boues des hydroxydes, voire d'autres

métaux dans le cas des industries de traitement de surface. Ces boues peuvent donc présenter certaines similitudes avec des boues d'eau potable (ADEME, 2001s).

3.5. Les boues mixtes

C'est le mélange des boues biologiques et des boues primaires. Elles existent au niveau des STEP (station de traitement des eaux polluées) dotées d'une filière de traitement complète (Remy Albrecht, 2007).

3.6. Les boues d'aération prolongée

Ces boues existent au niveau des STEP sans décantation primaire. Elles sont moins organiques et donc produisent moins de nuisances ultérieures (ONA, 2004).

4. Composition et traitement des boues résiduaires

4.1. Composition des boues résiduaires

La composition exacte des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Jarde et *al.*, 2003 ; Singh et *al.*, 2004). D'une façon générale, la matière solide de ces résidus contient à la fois des éléments naturels valorisables (matière organique, des éléments fertilisants et amendements), des composés toxiques (contamination chimiques inorganiques et organique).

Le (tableau I) donne des exemples de composition de boues primaires brutes et digérées et de boues activées brutes (Metcalf et Eddy, 2004).

Tableau I : Composition des boues (Metcalf et Eddy, 2004)

Composants	Boue primaire brute		Boue primaire digérée		Boue activée brute
	Gamme	Typique	Gamme	Typique	Gamme
Matière solide sur une base sèche (MS) (%)	5-9	6	2-5	4	0.8-1.2
Matière volatile (% des MS)	60-80	65	30-60	40	59-88
Graisse et gras (% des MS)			5-20	18	-
- Soluble dans l'éther	6-30	-			
- Extrait à l'éther	7-35	-	-	-	5-12
Protéine (% des MS)	20-30	25	15-20	18	32-41
Azote (N% des SM)	1.5-4	2.5	1.6-3.0	3.0	2.4-5.0
Phosphore (P ₂ O ₅ , % des MS)	0.8-2.8	1.6	1.5-4.0	2.5	2.8-11
Potasse (K ₂ O, % des MS)	0-1	0.4	0-3.0	1.0	0.5-0.7
Cellulose (% des MS)	8-15	10	8-15	10	-
Silice (SiO ₂ , % des MS)	15-20	-	10-20	-	-
pH	5.0-8.0	6.0	6.5-7.5	7.0	6.5-8.0
Alcalinité mg /L en CaCO ₃	500-1500	600	2500-3500	3000	580-1100
Acide organique (mg/l en HAc)	200-2000	500	100-600	200	1100-1700
Contenu énergétique (KJ/g MS)	23000-39000	25000	9000-14000	12000	19000-23000

4.2. Traitement des boues résiduaires

Quel que soit le mode d'épuration des eaux, les boues sont initialement constituées d'eau (99%), de matière organique fraîche très fermentescible, et des matières minérales dissoutes ou insolubles. La matière organique qui représente 35 à 85 % du mastère sèche est constituée essentiellement de cadavres de bactéries et leurs substances toxiques (Bram, 1986). Ces caractéristiques sont gênantes et posent beaucoup de problèmes techniques pour leur évacuation, quelle que soit la destination, parmi lesquels leur transport et leur stockage qui conduisent souvent à des problèmes de manipulation et des nuisances olfactives. Ceci impose le choix d'une filière de traitement des boues dès l'installation de la STEP. Selon le but de leur utilisation, des traitements complémentaires leur sont appliqués afin de:

- réduire leur teneur en eau est ceci dans le but de réduire leur volume et d'éviter la putréfaction de la matière organique facilement décomposable.
- stabiliser la matière organique en diminuant sa fermentescibilité pour réduire au moins ou supprimer les mauvaises odeurs (Guy, 2003 ; Emilian, 2004).

- les hygiéniser afin d'éliminer la charge en microorganismes pathogènes.

Les boues subissent donc des traitements de déshydratation et de stabilisation avant d'être rejetées dans le milieu naturel ou réutilisées à des fins agricoles ou énergétiques. Ainsi, pour réduire les volumes de boues, différents procédés sont mis en œuvre, comprenant par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation, le séchage, la stabilisation et la pasteurisation (Guy 2003, Emillian 2004).

4.2.1. Epaississement des boues

C'est la première étape du traitement des boues qui consiste à réduire le volume et concentrer la matière en suspension en éliminant une partie de l'eau. Cet épaississement peut se faire par des techniques simples comme la décantation, la flottation, la centrifugation, égouttage (drainage). Ce procédé permet d'obtenir des boues qui ont jusqu'à 5% de matière sèche.

4.2.2. Déshydratation des boues

Seconde étape du traitement des boues, la déshydratation intervient après l'épaississement. Elle vise à réduire la teneur en eau et, par conséquent, le volume des boues destinées à la valorisation ou à l'élimination, en plus d'en améliorer les caractéristiques physiques. Les boues passent de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. En général, une boue est considérée apte à être déshydratée quand sa concentration est supérieure à 15 g/l. Le traitement produit alors des boues de l'ordre de 15 à 30% de siccité ou de matière sèche.

La déshydratation s'opère par centrifugation ou par filtration.

- La centrifugation : consiste à séparer l'eau des boues épaissies par la force centrifuge développée dans un cylindre tournant à grande vitesse. En sortie, les boues sont pâteuses avec une siccité de 18 à 20 %.
- La filtration par filtres à bandes : les boues sont déversées entre deux bandes continues verticales de toiles synthétiques se déroulant entre deux rouleaux presseurs puis acheminées vers une aire de stockag). (Levesque, 1982).
- La filtration par filtres-presses: les boues sont injectées dans des filtres presses. Ces derniers sont pressés puis des «gâteaux de boues» sont démoulés et vont rejoindre l'aire de stockage.

4.2.3. Le séchage

Élimine l'eau en grande partie ou en totalité par évaporation ; la réduction de volume qui en résulte est conséquente. Elle se fait soit par voie naturelle (lits de séchage), soit par voie thermique. La technique des lits de séchage se réalise à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de

sable et de graviers (ADEME, 1996). Le séchage thermique permet une élimination de la quasi-totalité de l'eau. En sortie, les boues se présentent sous forme de poudres ou de granulés, avec un taux de siccité pouvant atteindre 90 à 95 %.

4.2.4. Stabilisation des boues

Elle permet d'éliminer 20 à 50% de la matière organique. Elle a pour but d'empêcher ou de réduire les problèmes de fermentation et d'éviter ainsi les nuisances olfactives et, selon la technique employée, de diminuer la quantité de micro-organismes pathogènes ou de substances potentiellement toxiques. L'étape de stabilisation est indispensable à tout projet de valorisation des boues. La stabilisation peut être **biologique** par voie aérobie (compostage) ou anaérobie (méthanisation) ou **chimique** (chaulage ou autres traitements) (Office International de l'Eau, 2001, Blondeau, 1985).

4.2.5. Pasteurisation des boues

Elle a pour objectif de détruire les agents pathogènes et d'autres substances nocives qui pourraient être présents dans les boues. La pasteurisation consiste à chauffer les boues à une température de 70°C pendant un minimum de 30 minutes afin de les aseptiser. Ce type de traitement nécessite l'usage d'une chaudière autonome et d'un échangeur de chaleur eau-boues ou encore, d'un brûleur à gaz immergé dans les boues (Bechaux, 1978).

4.3. Devenir des boues

Actuellement, il existe cinq modes d'élimination ou de valorisation des boues :

- **L'incinération** qui consiste à injecter les boues en pulvérisation dans un incinérateur en vue de les brûler. Il s'agit là d'une filière d'élimination du déchet. Pour être assimilé à de la valorisation, cela implique de récupérer l'énergie produite, néanmoins ce procédé peut être à l'origine de désagréments tel que le dégagement de nombreux polluants atmosphériques.
- **L'enfouissement** des boues dans un centre d'enfouissement technique des déchets de classe 2 (CET 2).
- **La méthanisation** par dégradation biologique en condition anaérobie des matières organiques qui produit du gaz carbonique et du méthane. Le méthane peut être valorisé par cogénération pour produire de l'électricité et de la chaleur.
- **L'épandage** des boues sur des terres agricoles à condition qu'elles présentent un intérêt agronomique. Ce mode de valorisation est soumis à la réglementation sur l'épandage agricole des boues d'épuration.

- **Le compostage** des boues avec un support carboné, qui est généralement du broyat de déchets verts. Ce procédé permet d'hygiéniser le produit et de faciliter son stockage et son épandage.

5. Valorisation agricole des boues d'épuration

Pour beaucoup de pays, l'épandage agricole constitue la voie préférentielle d'élimination des boues issues des stations d'épuration urbaines car cette solution présente un double intérêt, environnemental et économique. En effet, la nature de la matière organique des boues d'épuration fait qu'elle est facilement minéralisée par les micro-organismes du sol et produit peu d'humus. Ainsi, les boues représentent un apport de matière fertilisante très bon marché en comparaison avec les engrais chimique (Tableau II). Elles peuvent être valorisées comme matière résiduelles fertilisantes (MRF) et suppléer une partie de l'apport d'engrais minéraux nécessaire à des cultures économiquement importantes (blé, maïs, ...) tout en agissant favorablement sur les propriétés du sol (ADEME, 1996). En effet, des études de la valeur fertilisante ont démontré que l'application de boues résiduaires urbaines s'est traduite par une production importante d'azote minérales (Mench et *al.*, 1989) et une augmentation de la teneur de formes organique et minérales du phosphore (Brossard et *al.*, 1989).

Tableau II: Composition en éléments fertilisants de 5 grandes types de boues (ITCF, 2001)

	Boues Compostées	Boues liquides	Boues pâteuses	Boues sèches	Boues chaulées
MS % du produit brut	40-60	2-à 6	18-22	90-95	25-40
Teneur en MO (%MS)	80-90	65-70	50-70	50-70	30-40
Teneur en minéral (%MS)	10-20	30-35	30-50	30-50	60-70
pH	6-7	6,5-7	7-8	6-8	9-12
C/N	15-25	4-5	5-6	4-6	8-11
Azote (Kg N/ T brut)	5-9	2-4	8-12	30-50	6-10
Phosphore (Kg P ₂ O ₅ /T brut)	6-8	2-3	6-9	50-70	6-10
Potasse (Kg K ₂ O/T brut)	1-2	0-9	0-8	5	1
Chaux (Kg CaO /T brut)	10-30	1-3	5-15	40-60	60-90

II. LES LEGUMINEUSES

1. Généralités

Avec 18.000 espèces classées en environ 650 genres, les légumineuses forment une des plus grandes familles de plantes à fleurs, comprenant des plantes herbacées, des arbres, des arbustes ou des lianes, généralement identifiables par leurs fleurs. Beaucoup sont grimpantes et possèdent des feuilles ou des parties de feuilles modifiées en vrilles, très souvent composées et munies à leur base de deux stipules souvent persistantes. Les fleurs, pentamères avec 10 étamines ou parfois plus, fréquemment de forme papilionacée. Fruit en gousse uniloculaire s'ouvrant en deux valves séparées et contenant de nombreuses graines. (Ferland Wathan, 1967).

L'immense famille des légumineuse est subdivisée en trois sous-familles : Cesalpiniacée, Mimosacée et Papilionacée. Cette dernière représente la sous-famille la plus importante des légumineuses car elle fournit le plus grand nombre d'espèces utiles à l'homme, qu'elles soient alimentaires, industrielles ou médicinales.

2. Importance

La famille des légumineuses à un grand intérêt pour l'homme qui utilise ses produits comme aliments, gommés, teintures, résines, huiles et nombreux bois de construction.

Les espèces de cette famille peuvent contracter une symbiose avec une bactérie de la famille des *Rhizobiceae*, pour permettre un accès privilégié à l'azote de l'air. Par cette symbiose, les plantes de cette famille s'affranchissent de la teneur en azote dans le sol. Ainsi ces plantes sont capables de s'adapter à des sols très dégradés (Ferland Wathan, 1967). L'épuisement des sols tropicaux, provoqué par une intensification de l'agriculture et de l'élevage, est souvent aggravé par l'érosion. Pour cela, une solution consiste à planter des végétaux fixateurs d'azote. Dans le premier cas, les végétaux servent d'engrais vert, c'est –à – dire qu'ils sont enfouis dans le sol par labourage avant de mettre en culture les céréales. Pour le deuxième problème, celui de la protection des sols érodés, les végétaux pionniers sont utilisés pour fixer les dunes mobiles ou les pentes dénudées, en retenant le sol par leur puissant réseau racinaire (Dommergues et *al.*, 1985).

Par ailleurs, les légumineuses sont d'une importance incontestable dans l'alimentation humaine et du cheptel. Leur intérêt réside dans la présence en grandes quantités de protéines végétales (permettant d'atténuer un déficit chronique en protéines animales),

des fibres, de minéraux et vitamines et dans la pauvreté en lipides sauf pour l'arachide et le soja. En outre, on doit souligner la capacité du pois et de la féverole à fournir également de l'énergie sous forme d'amidon. Les légumineuses, comme les fèves, les pois et les lentilles, sont riches en lysine, un acide aminé absent dans les céréales qui apportent quant à elles, la méthionine. Ainsi, en associant les deux, on dispose de tous les acides aminés indispensables.

Le tableau III illustre la grande richesse en protéines des graines protéagineuses par rapport au blé (Duc et al., 2010).

Tableau III: Composition comparée des graines de légumineuses protéagineuses et du grain de blé (% de la matière sèche, sauf pour acides aminés exprimés en g/16g N)

Constituants/espèce	Amidon	Fibres	Lipides	Protéines	Lysine	Méthionine + Cystéine
Pois	50	15	2	22-25	7,1	2,4
Féverole	43	18	2	28-32	6,5	2,1
Lupin blanc	1	22	10	35-39	4,3	2
Soja	2	20	20	36-40	6,2	2,8
Blé *	70	8-10	1-1.5	10-15	2,3	4

(* : D'après Feillet, 2000)

3. LA FEVE : *Vicia faba* (L.)

3.1. Présentation de la fève

La fève est une plante potagère de la famille des papilionacées cultivée depuis la plus haute Antiquité. Originaires de Perse, elle tenait dans nos contrées le rôle haricot avant que ce dernier ne soit importé d'Amérique du Sud (Abdallah, 1979). On n'en consomme en revanche que les graines, fraîches ou séchées (Schultz, 1972). La fève est cultivée sur tout le pourtour méditerranéen, elle constitue toujours une des bases de l'alimentation en Afrique du Nord et en Orient (Wikipedia, 2010 ; Ladizin, 1975). Ce sont des plantes herbacées robustes, pouvant dépasser 1 mètre. Les feuilles sont pennées et terminées par une pointe, avec des folioles larges, de couleur glauque. Inflorescence en racème de deux à cinq fleurs (parfois fleur solitaire), à corolle blanche ou rosée, avec des taches noires sur les ailes. Le fruit est une gousse contenant des graines de forme ovale et aplatie avec une peau épaisse (Belkhodja, 1996).

D'après Gallais et Bannerot (1992) et Nuessly et *al.*, (2004), la classification basée sur le critère de la taille des graines est généralement retenue. L'espèce *Vicia faba* L. renferme à son tour trois sous-espèces :

- *Vicia faba major*, la fève maraichère à grosses graines destinées à la consommation humaines.
- *Vicia faba minor* : la petite fève ou féverole utilisée pour l'alimentation du bétail.
- *Vicia faba equina* : la fève à cheval à grains moyen aussi appelée féverole ou févette dans certain région, comme son nom l'indique elle également destinée à l'alimentation du bétail.

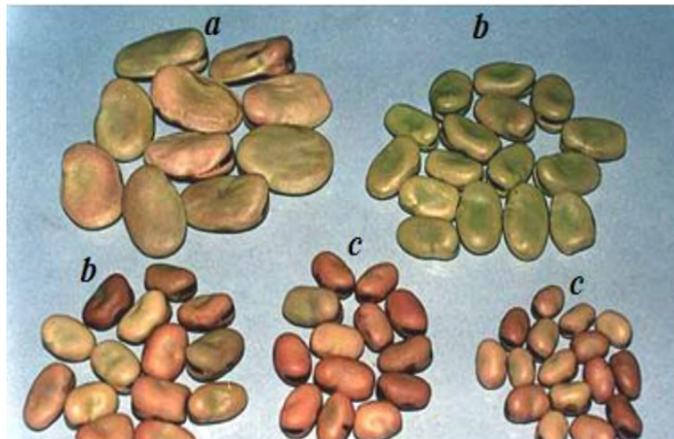


Figure 02 : (a) Graines de *Vicia faba major*, (b) Graines de *Vicia faba minor*, (c) Graines de *Vicia faba equina*

3.2. Classification botanique de la fève

D'après Wojciechowski et *al.* (2004), cette classification est décrite comme suite :



Règne : *Plantae*

Sous-règne : *Tracheobionta*

Division : *Magnoliophyta*

Classe : *Magnoliopsida*

Sous-classe : *Rosidae*

Ordre : *Fabales*

Famille : *Fabaceae*

Genre : *Vicia*

Espèce : *Vicia faba* L.

3.3. Intérêts de la fève

3.3.1. Intérêt économique

Les légumineuses représentées essentiellement par les cultures du petit pois, le haricot, le pois chiche et la fève sont d'une importance considérable dans les pays d'Asie, du Nord et du Nord-est de l'Afrique (Vance et *al.*, 2000 ; Adne, 2005). Parmi les légumineuses, la fève (*Vicia faba* L.) est aujourd'hui parmi les plantes légumières les plus cultivées dans le monde. Sa superficie mondiale est estimée à 3 millions d'hectares dont plus de 50% se situent en Chine, 20% en Afrique du Nord et moins de 10% en Europe (Abu Amer et *al.*, 2011).

En Algérie, bien que le rendement a clairement diminué ces deux dernières décennies 4.71 qx /ha (ITGC, 2010), la fève reste la plus importante et occupe toujours la première place parmi les légumes sec (Benachour et *al.*, 2007). On la cultive sur les plaines côtières et les zones sublittorales (Zaghouane, 1991), avec une surface cultivée d'environ 375441 hectares, soit 48,29% de la superficie consacrée aux légumineuses, et une production, pour la campagne 2012, qui dépasse les 405070 quintaux (Anonyme, 2013).

Selon les statistiques de la (FAO, 2006), la récolte mondiale s'élève, en 2002, à 4.75 millions de tonnes dont 1.02 millions de fèves vertes et 3.73 millions de fève sèches. Sa culture dans les pays du bassin méditerranéen est environs de 25% de la surface totale cultivée et de la production mondiale de fèves, avec un rendement très proche de la moyenne mondiale, 38qx/ha (Saxena, 1991).

3.3.2. Importance agronomique

Comme toutes les légumineuses, l'espèce *Vicia faba* L. assure sa nutrition azotée par deux voies : l'assimilation de l'azote minéral du sol et la fixation symbiotique de l'azote atmosphérique. Cette aptitude à fixer l'azote atmosphérique limite l'utilisation des engrais azotés qui sont coûteux pour l'agriculteur et néfastes pour la santé humaine et l'environnement (Noura, 2007). Plusieurs études agronomiques, entre autres celles conduites à l'ITAB (Institut Technique la culture Biologique) et au CREAB MP (Centre Régional de Recherche et d'expérimentation en agriculture Biologique de Midi-Pyrénées en France), affirment que l'espèce *Vicia faba* L. (Fève ou féverole) est indifférente à la nature du précédent cultural. Ce qui la met, le plus souvent, en fin de rotation (Papvc, 2009).

3.3.3. Intérêt nutritionnel

Les légumineuses à graines permettent d'apporter au moins 33% des besoins humains en protéines alimentaires. Cette part est fournie essentiellement par les cultures du petit pois, le haricot, le pois chiche et la fève (Vance et *al.*, 2000).

La valeur nutritionnelle de la fève est attribuée à sa teneur élevée en protéines (20-25%) qui, contrairement aux céréales, sont riches en lysine et faibles en méthionine. Elles sont aussi une bonne source de glucides (50-60% d'amidon), de minéraux, de fibres et de vitamines. Par contre, la proportion lipidique est faible (Larrald et Martinez, 1991). La fève constitue une source considérable d'énergie (344 Kcal/100g) et peut efficacement remplacer les protéines animales dans les pays pauvres (Chaieb et *al.*, 2011).

Le tableau IV indique la valeur nutritionnelle pour 100g de graines sèches de la fève (DUC, 1981).

Tableau IV : Les nutriments contenus dans 100 g des graines sèches de la fève

Nutriment	(%)
Calories	3.44
Humidité	10.1
Protéine	25.5
Graisse	1.3
Hydrate de carbone total	5.95
Fibre alimentaire	6.8
Cendres	3.0
β -équivalent de carotène	1.3
Thiamine de magnésium	0.38
Riboflavine de magnésium	0.24
Tryptophane niacine de magnésium	2.1
Magnésium	1.62

La fève contient d'autres facteurs répréhensibles comprenant le cyanogène, acide physique, les tannins et les inhibiteurs de la trypsine (Williams, 1988). La fève contient plusieurs facteurs antinutritionnels possibles, cependant, leurs effets sont moins aigus et les inhibiteurs de protéase sont (2%) aux concentrations beaucoup inférieures comparées au soja (Laumonier, 1997).

3.3.4. Intérêt écologique

La fève est localisée dans l'étage bioclimatique de 250mm de pluie, tolère bien le froid et les hautes températures (Herzog, 1984). Sa température optimale de pousse se situe aux environs de 20° C (Foltete, 2010). La somme de températures nécessaires pour accomplir son cycle végétatif varie de 19 à 20°C (Carlu, 1952). La fève préfère les sols profonds, siliceo-argileux riches en matière nutritives et en humus (Kolov, 1976).

Cette plante est capable de s'adapter à des sols très pauvres et très dégradés, donc elle a un rôle améliorateur des sols, en plus d'un intérêt alimentaire (Singh et Jauhar, 2005).

La fève est très sensible à la pollution du sol, ce qui en fait un modèle végétatif utilisé en écotoxicologie dans un grand nombre d'étude (Nouri, 2012). La fève est aussi employée pour étudier les réponses des marqueurs au stress oxydant (Radetski, 2004) ; et d'autres mécanismes de défenses antitoxiques de la plante comme les phytochélatines (Beraud, 2007).

Matériels
&
Méthodes

1. MATERIEL

1.1. Le sol

Le sol utilisé pour l'expérimentation provient de la région de Bordj Bou Arreridj située au Nord-est d'Algérie sur les Haut-Plateaux. Celle-ci est délimitée au Nord par Bejaia, à l'Est par Sétif, au Sud par M'Sila et à l'Ouest par Bouira (Figure 03). Cette région se caractérise par un climat méditerranéen, qui offre des températures chaudes en été et très froides en hiver, parmi les plus basses d'Algérie. La pluviométrie annuelle est de 300 à 700 mm.

Le prélèvement du sol a été effectué à une profondeur de 25cm environ dans une parcelle non cultivée. Il est ensuite acheminé au laboratoire et homogénéisé.



Figure03 : Site d'échantillonnage du sol

1.2. Les boues

Les boues utilisées dans notre expérimentation proviennent de la station d'épuration des eaux usées urbaines de Sidi-Ali Lebhar de la ville de Bejaia, âgées d'environ 3 ans. Pendant cette période, ces boues ont été laissées à l'air libre afin de subir un lessivage, un retournement régulier pour aération et une évaporation naturelle de l'eau contenue dans les boues par exposition au rayonnement solaire et enfin une stérilisation thermique à une température qui varie entre 50 et 60°C jusqu'à ce que tous les microorganismes pathogènes disparaissent.

Ces boues d'une couleur noire foncée, caractérisées par des odeurs désagréables et une faune remarquable (larves, nématodes, acariens.....) (Figure 04).



Figure 04: Les boues utilisées.

1.3. Le matériel végétal

Le matériel végétal ayant fait l'objet de cette étude est composé de semences d'une variété locale de féverole (*Vicia faba* L. var. *minor*), couramment cultivée en Algérie (Figure05). Les graines de cette variété nous ont été fournies gracieusement par un agriculteur de la région de Timezrit (Bejaia).



Figure 05: Graines de *Vici Faba* (L.) var. *minor* utilisées.

2. METHODES

2.1. Analyses physico –chimiques des sols et des boues

La terre ou les boues destinées à l'analyse physico-chimique sont séchées à l'air libre pendant une semaine, puis tamisées à 2 mm de diamètre. Les fractions fines obtenues ont été soumises à une caractérisation pédologique comportant des analyses physiques et des analyses chimiques.

2.1.1. Les Analyses physiques

2.1.1.1. Mesure de l'humidité résiduelle

L'humidité du sol ou des boues est déterminée par pesée d'une certaine quantité de sol avant et après passage à l'étuve à 105°C. La différence de masse avant et après séchage sert de mesure pour la teneur en eau, exprimée en pourcentage de masse, selon la formule suivante :

$$\%H = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_3} * 100$$

Avec :

P₁ : poids frais.

P₂: poids sec.

P₃: poids de la tare vide

2.1.1.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a pour but de donner la composition élémentaire du sol ou texture du sol ou des boues, en classant les particules minérales en groupes correspondants à des dimensions définies selon l'échelle d'Atteberg. Elle a été effectuée à la pipette de Robinson. Après destruction de la matière organique à l'eau oxygénée, du calcaire total à l'acide chlorhydrique (6N) et dispersion des ions flocculant à l'hexametaphosphate de sodium, les particules fines (argiles et limons fins) sont prélevées à la pipette Robinson dans des allonges à sédimentation, à des profondeurs et à des temps déterminés par application de la loi de Stokes. La fraction grossière (sables grossiers, sables fins et limons grossiers) sont déterminés par tamisage après élimination des fractions fines par siphonage (Aubert, 1978).

2.1.1.3. Le pH

Le pH du sol est déterminé par l'emploi d'un pH-mètre à électrode de verre préalablement étalonné à l'aide des solutions tampons de pH connu. La réaction du sol ou des boues est déterminée sur une suspension aqueuse dans laquelle le rapport échantillons/eau = 1/2,5.

Deux mesures de pH ont été déterminées :

2.1.1.3.1. pH_{eau} ou acidité actuelle qui exprime la concentration en ions H^+ dissociés présents dans la solution des échantillons à un instant donné, en équilibre avec les radicaux qui les ont libérés et avec les autres ions dans le milieu (Foucard, 1994).

2.1.1.3.2. pH_{KCl} ou acidité potentielle qui correspond à la quantité totale des ions H^+ échangeables, capables d'être remplacés par un certain ion métallique (KCl) au fur et à mesure d'une neutralisation (Delcour, 1981).

2.1.1.4. Conductivité électrique (CE)

L'échantillon de sol ou de boues est extrait dans un rapport d'extraction de 1:5 (m/V) avec de l'eau distillée, afin de dissoudre les électrolytes. La conductivité électrique (CE) de l'extrait filtré est mesurée à l'aide d'un conductimètre et exprimé en mmhos/cm et le résultat est corrigé à une température de 25 °C.

2.1.2. Les analyses chimiques

2.1.2.1. Dosage de calcaire total (CaCO_3)

Le dosage du calcaire total (CaCO_3) est réalisé par la méthode gazométrique, en décomposant les carbonates de calcium du sol ou des boues par l'acide chlorhydrique (HCl 1/2) et mesurer le volume du CO_2 dégagé à l'aide du calcimètre de Bernard.

2.1.2.2. Dosage du calcaire actif

Le calcaire actif correspond à la partie la plus fine des carbonates de calcium et facilement solubilisable par les solutions du sol ou des boues. Pour son dosage, on utilise la méthode Dronineau-Galet, qui utilise la propriété du calcium de se combiner aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble, l'excès d'oxalate d'ammonium est ensuite dosé par une solution de permanganate de potassium de titre connu en milieu sulfurique (Soltner, 2005).

2.1.2.3. Dosage de l'azote total

L'azote total du sol ou des boues est déterminé par la méthode de Kjeldahl. Dans cette méthode, l'azote des composés organiques des échantillons est transformé à chaud en azote ammoniacal sous l'action d'acide sulfurique concentré, qui se comporte comme un oxydant et détruit les matières organiques. Pour accélérer cette transformation, on utilise un catalyseur refermant du sulfate de cuivre, de sulfate de potassium et de sélénium. Lorsque la matière organique est entièrement oxydée, la solution du sulfate d'ammonium obtenue est récupérée. L'ammoniaque est déplacée de sa combinaison par la soude, distillée grâce à l'appareil de distillation (VELP) et recueilli dans une solution d'acide borique. On titre celui-ci avec une solution d'acide sulfurique de normalité connue.

2.1.2.4. Dosage du carbone organique

Le carbone organique des échantillons du sol ou des boues est dosé par la méthode Anne modifiée. Le carbone de la matière organique est oxydé à chaud en CO₂ par un mélange de bichromate de potassium et d'acide sulfurique concentré. L'excès de bichromate de potassium non réduit est titré à froid par une solution de sel de de Mohr. Le taux de matière organique du sol est déterminé selon la formule suivante : $\% \text{ MO} = \% \text{ C} \times 1.72$

2.1.2.5. Dosage du phosphore assimilable

Le phosphore assimilable du sol ou des boues est déterminé selon la méthode Olsen (1954). L'acide phosphorique du sol d'abord extrait par une solution de bicarbonate de sodium (NaHCO₃, 0,5N et pH=8,5) dans un rapport prise d'essai /volume d'extraction (m/v=1/20), suivie d'une filtration. Les ions phosphates réagissent ensuite avec les ions molybdates en milieu acide pour former un complexe phospho-molybdique qui est réduit par les chlorures Stanneux, développe une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration de la solution en orthophosphates. Le phosphore extrait est dosé par spectrophotométrie à une longueur d'onde $\lambda=660\text{nm}$. Les teneurs des échantillons en P sont déterminées à partir d'une courbe standard et exprimées en ppm (Annexe 1).

2.1.2.6. Capacité d'échange cationique (C.E.C)

La capacité d'échange cationique des sols est déterminée par la méthode Metson. Le sol est lessivé avec une solution aqueuse d'acétate d'ammonium (1M, pH7) de manière à provoquer un échange complet entre les cations de l'échantillon (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺Na⁺) et les

ions ammonium de la solution. Le complexe absorbant, après déplacement des bases échangeables est saturé par de l'ammonium (NH_4^+). L'excès de NH_4^+ est éliminé par rinçage à l'éthanol. Ensuite, les ions ammonium fixés sur le complexe sont extraits par une solution aqueuse et molaire de chlorure de potassium (KCl, 1M). Les ions ammonium récupérés par le lavage sont dosés avec une solution d'acide sulfurique de titre connu après distillation à l'aide d'un appareil de VELP.

2.1.2.7. Dosage des bases échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)

Les quantités des cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) sont déterminées sur les percolâtes obtenus par extraction à l'acétate d'ammonium. Ainsi, les teneurs du sol ou des boues en Ca^{2+} et Mg^{2+} sont déterminées par complexométrie à l'EDTA ; alors que celles de K^+ et Na^+ à l'aide d'un spectrophotomètre à flamme (Jenway), après étalonnage de l'appareil à l'aide d'une gamme de solutions de concentrations connues. Les solutions étalons de potassium sont préparées à partir de KCl (à 1000 ppm de K^+) (Annexe 2) et celles du sodium à partir de Na Cl (à 1000 ppm de Na^+) (Annexe 3).

2.2. Etude de l'effet des boues sur le développement de la fève

2.2.1. Conduite de l'essai

L'essai a été conduit au niveau du laboratoire de biologie des sols de la faculté des sciences de la nature et de la vie (Université de Bejaia).

2.2.1.1. Préparation des pots

La culture des plantes a été réalisée dans des pots en PVC d'une capacité de 2,5 Kg, ayant une hauteur de 14 cm et dont les diamètres supérieurs et inférieurs sont respectivement de 16,5 cm et de 10 cm. Afin de laisser drainer l'eau en excès et éviter l'asphyxie des plantules, le fond des pots a été perforé, puis tapissé de 300 g de gravier fin. Sur cette couche est déposé un grillage en plastique pour retenir le sol.

2.2.1.2. Préparation des graines

Afin de réduire au maximum la variabilité des résultats due aux réserves des graines et d'éviter l'hétérogénéité de l'échantillon, nous avons réparti les graines de *Vicia faba* (L.) par classe de poids. Ainsi, un lot de 1000 graines est réparti par classe de poids. L'histogramme de la distribution pondérale nous a permis de choisir la classe la plus représentative et la plus restreinte possible pour l'ensemble du lot. Dans nos expériences, nous avons retenu les graines de la classe [0,4-0,5] (Annexe 4).

2.2.1.3. Germination des graines

Afin de faciliter leur germination et d'évaluer leur capacité germinative, les graines de *Vicia faba* (L.) de la classe [0,4-0,5] ont été triées à la main en fonction de leur bon état visuel (notamment téguments intacts, absence de taches ou autres). Elles ont été ensuite désinfectées en surface avec de l'eau de javel (3°) pendant 3 minutes, puis rincées abondamment à l'eau distillée stérile. Après désinfection, les graines sont trempées durant 24 heures dans de l'eau distillée (imbibition), puis mises à germer dans des boîtes de Pétri de 90 mm de diamètre, tapissées de coton hydrophile humidifié d'eau distillée. Les graines sont disposées sur le coton et espacées l'une de l'autre de manière à éviter un chevauchement des racines pouvant aboutir à une cassure au moment de repiquage, les boîtes sont mises à l'étuve réglée à 20°C.

2.2.1.4. Protocol expérimental

Avant les essais, le sol utilisé a subi un tamisage afin d'éliminer les débris végétaux, animaux et gravier. La fraction fine du sol obtenue a été séchée à l'air libre puis partagée en quantités égales, à savoir 1,2kg par pot. Chaque série de 3 pots reçoit une quantité de boues, désignées par T0, T1, T2 et T3, dans un rapport boues/sol respectivement de 0%, 4%, 8% et 12% (p/p).

Les boues correspondant aux doses retenues par le protocole ont été séchées à l'air libre, broyées, puis passées sur un tamis avec une maille de 2 mm. Ensuite, elles sont soigneusement mélangées avec le sol pour réaliser une distribution uniforme de cet amendement.

2.2.1.5. Mise en culture des plantes

Les graines utilisées dans l'essai de germination sont celles dont les radicules mesuraient entre 1 et 2 cm de longueur. Les plantules de fèverole sont repiquées soigneusement à raison de 4 plantules par pot à une profondeur de 2 cm avec un léger tassement, puis immédiatement arrosés à l'eau courante pour permettre un bon contact sol-graine.

2.2.1.6. Conditions de culture

Les pots ainsi préparés sont placés sur une table (h=90cm) et subissent régulièrement des rotations. Les cultures sont conduites sous des conditions de températures et de luminosité du laboratoire et l'irrigation a été faite de manière à maintenir le sol dans une humidité suffisante et éviter tout stress hydrique durant l'expérimentation (Figure 06).

2.2.1.7. Dispositif expérimental

L'essai est conduit selon un dispositif expérimental en blocs complètement aléatoires, comportant 4 traitements. Chaque traitement est répété 3 fois (3 pots/traitement), à raison de 4 plantes par pot. Les traitements appliqués sont :

- Traitement 1 (T0) : constitué de pots contenant les échantillons de sols sans apport de boues (Témoin),
- Traitement 2 (T1) : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par 4% de la boue.
- Traitement 3 (T2) : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par 8% de la boue.
- Traitement 4 (T3) : constitué de pots contenant les échantillons de sols amendés par 12% de la boue.

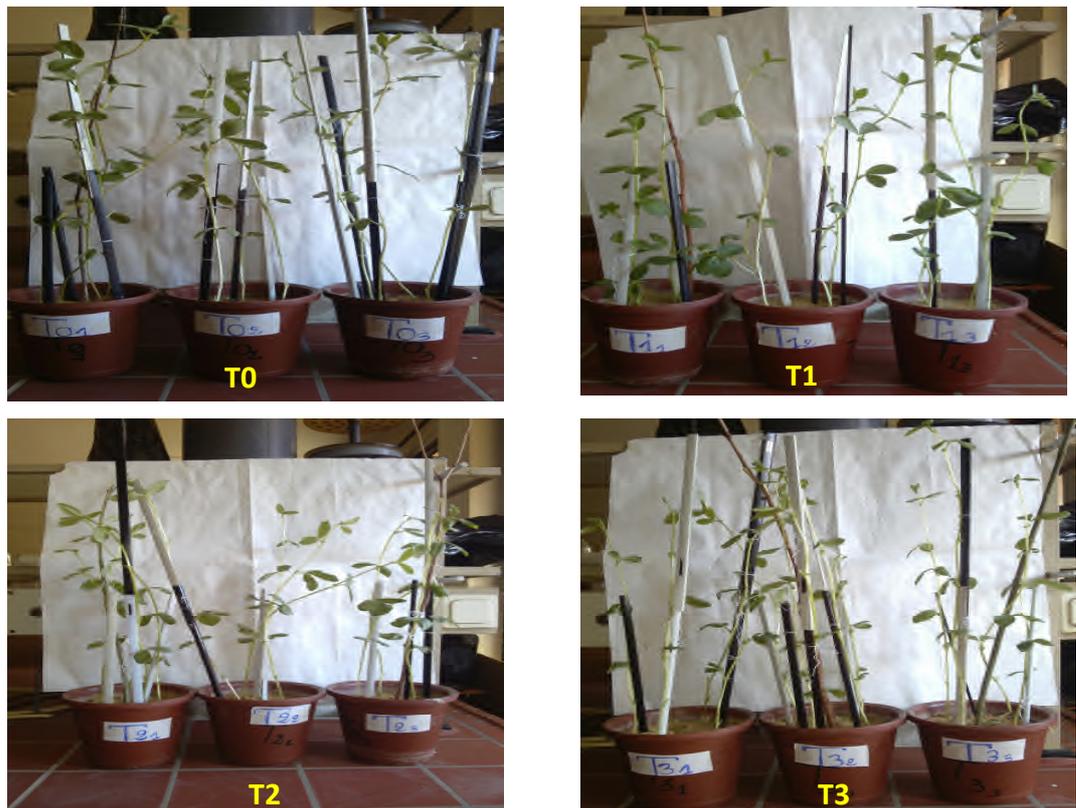


Figure 06 : Dispositif expérimental de l'essai

2.3. Paramètre mesurés

Au 60^{ème} jour de l'essai de culture, les plantes ont été déterrées soigneusement, leurs racines lavées à l'eau courante puis essorées rapidement avec du papier filtre. Les parties aériennes (tiges + feuilles) et racinaires sont séparées.

2.3.1. Mesures des paramètres biométriques

2.3.1.1. Les longueurs des parties aériennes (**LPA**) et des parties racinaires (**LPR**) ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée en mm.

2.3.1.2. Poids frais (Pf). Juste après la récolte, le poids frais (Pf) des parties aériennes (tiges + feuilles) et racinaires de chaque plante a été déterminé par pesées à l'aide d'une balance de précision.

2.3.1.3. Poids secs (Ps). Après la détermination du poids frais (Pf), les parties aériennes et racinaires sont ensuite soigneusement séparément emballées dans du papier aluminium, numérotées et mises à l'étuve réglée à 70°C jusqu'à poids constant. Le poids sec (Ps) des échantillons a été déterminé par pesée.

2.3.1.4. La matière sèche (MS) des parties aériennes et racinaires des plantes, exprimée en %, ont ensuite été déterminées selon la formule : $MS\% = (Ps/Pf) \times 100$; où (MS% : % de matière sèche ; Ps : poids sec et Pf : Poids frais).

2.3.1.5. La surface foliaire (Sf) 3^e étage . Elle est estimée par la méthode de Paul et *al.* (1979) qui consiste à placer la feuille sur du papier calque, à découper les contours de la feuille et à peser la partie du calque représentant la feuille (**Pf**). Ensuite, on détermine par pesée le poids (**Pq**) correspondant à une surface (**Sq**) connue d'un carré du même papier calque. La surface de la feuille (**Sf**) est déduite par la formule suivante : $Sf = (Pf * Sq) / Pq$

2.3.2. Mesures des paramètres éco-physiologiques

Les analyses physiologiques ont concerné les paramètres suivants :

2.3.2.1. La teneur en eau (TE). Elle est calculée à partir des valeurs des masses fraîches et sèches mesurées précédemment, en appliquant la formule suivante :

$$TE (\%) = [(Pf - Ps) / Pf] * 100.$$

2.3.2.2. Dosage des pigments chlorophylliens

L'extraction des pigments chlorophylliens des tissus foliaires a été réalisée suivant la méthode de Mc Kinney et *al.* (1941) cités par Arnon (1949).

20 mg de matière végétale fraîche sont broyés dans une solution d'acétone (80%), en présence de quelques milligrammes de carbonate de calcium (CaCO₃) pour faciliter la libération des pigments chlorophylliens. Après filtration, on procède à la lecture de la densité optique des filtrats à l'aide d'un spectrophotomètre réglé aux longueurs d'ondes suivantes : 663 nm et 646 nm après étalonnage de l'appareil avec la solution témoin de l'acétone à 80%. Les teneurs en chlorophylle A, B et totale, exprimées en µg/g MVF, sont déterminées selon les équations établies par Mc Kinney (1941) cités par Arnon (1949).

$$\text{Chlorophylle A} = [(12.21 \times \text{DO}_{663}) - (2.81 \times \text{DO}_{646})] \times V / P$$

$$\text{Chlorophylle B} = [(12.21 \times A_{646}) - (2.81 \times A_{663})] \times V / P$$

$$\text{Chlorophylle totale} = \text{Chlorophylle A} + \text{Chlorophylle B}$$

Avec :

DO : Densité optique de l'échantillon mesuré à 663, 646.

V : Volume de l'extrait sur 1000 ml

P : Poids frais de l'échantillon en g.

2.3.2.3. Dosage de la proline

Dans la méthode de Bates et *al.* (1973), l'échantillon foliaire frais est broyé avec de l'acide sulfosalicylique (3%) et le résidu est éliminé par centrifugation à 5000 tours/min pendant 10 minutes. 1 ml du surnageant réagit avec 2 ml de la solution de ninhydrine et de l'acide acétique glacial et le tout est incubé pendant 1 heure à 100 C°. Après refroidissement dans un bain de glace, 6 ml de toluène sont ajoutés à l'extrait. La phase supérieure contenant la proline est récupérée et sa densité optique est mesurée à 520 nm. La concentration en proline est déterminée en se rapportant à une courbe standard préparée à partir d'une solution de proline sur la base des concentrations connues (Annexe 5). La quantité de proline du végétal est exprimée en µg/g MVF.

2.3.3. *Mesure des paramètres de la nutrition minérale*

Afin d'analyser le contenu des éléments minéraux au niveau de la plante, nous avons déterminé les quantités des ions minéraux (Azote, Phosphore et potassium) au niveau des différents organes (racine, partie aérienne).

2.3.3.1. Dosage de l'azote total (N) des plantes

Les plantes séchées sont réduites en poudre dans un mortier à l'aide d'un pilon, puis tamisées sur un tamis avec une maille de 0,2 mm. La poudre fine obtenue de chaque échantillon est placée séparément dans des tubes à essai fermés hermétiquement en attendant l'extraction et les dosages des éléments minéraux.

Les teneurs en azote du végétal ont été déterminées sur 0.1 g de poudre végétale selon la méthode Kjeldahl décrite précédemment.

2.3.3.2. Dosage du phosphore (P) et de potassium (K⁺)

0,1g de poudre végétale finement broyée est pesé dans un creuset en porcelaine. L'ensemble est placé dans un four moufle à 500°C pendant 5h. Après refroidissement, les cendres obtenues sont reprises par 2,5ml de HCl pur (37%), puis ramenées à sec jusqu'à décoloration du minéralisât sur un bain de sable. Le résidu est redissout dans 3 ml de HNO₃ à 10 %, puis filtré sur papier Wattman et le volume est complété à 25 ml avec de l'eau distillée.

Ce minéralisât constitue la solution mère à partir de laquelle la détermination des éléments K et P est faite.

Le potassium (K⁺) est dosé par spectrophotométrie de flamme (Jenway), après étalonnage de l'appareil à l'aide d'une gamme de solutions de concentrations connues, préparées à partir d'une solution de KCl (à 1000 ppm de K⁺). (Annexe 2).

Le Phosphore (P) est déterminé par la méthode de Misson, basée sur la formation avec le phosphovanadomolybdate d'ammonium, d'un complexe de couleur jaune caractéristique.

On ajoute 10 ml de minéralisât à 10 ml de réactif nitrovanadomolybdique (100 ml de molybdate d'NH₄ à 10% + 100 ml de métavanadate de NH₄ à 2,35g par litre + 67 ml de HNO₃ à d = 1,38 + eau q.s.p. 500 ml). L'intensité de la coloration est mesurée au spectrophotomètre à 400nm ; la teneur en P est obtenue par comparaison avec une gamme de solutions étalées de concentrations connues de P. (Annexe 1).

2.4. Effet des boues sur les caractères physico-chimiques du sol

Les paramètres physicochimiques du sol (pH, carbone organique, azote total, conductivité) ont été obtenus selon la méthode d'analyse des sols.

2.5. Analyse statistique

Les données mesurées ont fait l'objet d'une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur de classification, à l'aide d'un logiciel statistique XLSTAT (2009) (Annexe 6). Puis, si nécessaire, un classement des moyennes a été effectué à l'aide du test Tukey HSD. Ce test permet de compléter l'interprétation et d'identifier les groupes de moyennes homogènes. On considère que les résultats sont significatifs quand $P \leq 0,05$.

Résultats
&
Discussions

I. Caractérisation physico –chimique des sols

Les différents paramètres physico–chimiques du sol de BBA sont représentés dans le tableau V.

Tableau V : Caractéristique physicochimique du sol de BBA (moyennes de trois répétitions).

Paramètres *	Résultats
Granulométrie	
Argiles(%)	52.32
Limons Fins(%)	34.08
Limons Grossiers(%)	1.59
Sables Fins(%)	4.79
Sables grossiers(%)	7.20
Texture	Argileuse
Analyse chimique et physique	
Carbone total (%)	0.6
Matière organique (%)	1.03
Azote total (%)	0
P (ppm)	0.46
CaCO ₃ total(%)	30.56
CaCO ₃ actif (%)	0.9
pH _{eau}	8.02
PH _{KCl}	7.48
Humidité résiduelle (%)	15.44
Conductivité électrique (µS/cm, à 25°C)	447,0
Le complexe absorbant (meq/100g T.S.)	
C.E.C (T)	8.8
Ca ⁺²	0.21
Mg ⁺²	0
Na ⁺	0.2831
K ⁺	0.124
Couleur (code Munsell)	2.5 YR 7/4 (pale yellow)

(*) Valeur moyenne de trois répétitions

L’analyse granulométrique décrit les proportion relatives des diverses tailles des particules solides du sol (argiles limons et sables), et permet d’apprécier la perméabilité, la rétention en eau, l’aération et la capacité d’échange cationique (Baize, 1988).

D’après le triangle de texture (USDA, 1954) et les résultats de l’analyse granulométrique du sol étudié indiquent que le sol de BBA présente une texture argileuse,

avec une dominance nette des argileus (52.32%). Ce type de sol est qualifié de terre collante et gonflante au contact de l'eau. Il est caractérisé par une grande capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs. Cependant, c'est un sol lourd et compact et il est alors difficilement drainé (Lerau, 2006).

La mesure du pH d'un sol permet de définir son état d'acidité ou d'alcalinité. Selon l'échelle de pH des sols établit par (Feller, 1995), le sol de BBA, avec un pH de 8.02, est considéré alcaline. Le pH_{KCl} exprime l'acidité d'échange ou l'acidité potentielle. C'est un indice d'expérience du degré de saturation du complexe absorbant, ainsi que la nature chimique des ions fixés. Le sol de BBA est caractérisé par un pH_{KCl} inférieur au pH_{eau} . L'analyse de ces deux paramètres pH_{eau} et pH_{KCl} montre que nos sols présentent une certaine stabilité et résistent assez bien à toutes modifications brutales des réactions du sol.

La conductivité électrique (CE) des sols détermine leur degré de salinité. L'échelle de Durand (1983) a été utilisée pour indiquer la classe de salinité de l'extrait du sol étudié. Les résultats de notre analyse montrent que le sol de BBA a une conductivité électrique de ($447 \mu s/cm \text{ à } 25^\circ C$), indiquant qu'il est non salin.

Le calcaire total est présent en proportion relativement importante dans le sol de BBA (30.56%), avec une très faible teneur en calcaire actif (0.9%). En comparant les valeurs obtenues à celles signalées par Baize (1988), nous constatons que le sol de BBA est fortement calcaire

La matière organique du sol est de 1.03%. Selon la classification de Baize (1988), le sol utilisé lors de l'expérimentation est pauvre en matière organique.

La capacité d'échange cationique du sol (CEC) représente la taille du réservoir permettant de stocker de manière réversible certains éléments fertilisation (potassium, magnésium, calcium ...). Elle est liée au complexe argilo-humique et sa valeur est donc fonction des quantités d'argile et de MO qu'il contient, mais aussi de la nature de ces éléments et du pH du sol. En se basant sur les valeurs du programme d'interprétation LANO/CA de Basse Normandie, le sol de BBA possède une petite capacité d'échange cationique (8.8 meq /100g sol).

Le phosphore assimilable est l'un des éléments majeurs indispensable à la croissance et au développement des végétaux. Il joue en particulier un rôle essentiel dans la mise en place du système racinaire, la photosynthèse et la reproduction du végétal (Elalaoui, 2007). Le

sol de BBA est très riche en phosphore (0.46 ppm), mais sous forme de précipité inaccessible aux végétaux (Chapman, 1961).

II. Caractérisation physico-chimique des boues

Les différents paramètres physico –chimiques des boues sont repentes dans le tableau VI.

Tableau VI : Résultats de l’analyse physico-chimique des boues

Paramètres	Résultats
Granulométrie	
Argiles(%)	83.29
Limons Fins(%)	9.37
Limons Grossiers(%)	1.85
Sables Fins(%)	2.59
Sables grossiers(%)	2.80
Texture	Argileuse
Analyse chimique et physique	
Carbone total (%)	4.44
Matière organique (%)	7.63
Azote total (%)	0,0
P (ppm)	0.66
CaCO ₃ total(%)	3.45
CaCO ₃ actif (%)	ND
pH _{eau}	6.08
PH _{KCl}	6.04
Humidité résiduelle (%)	59.96
Conductivité électrique (μS/cm, à 25°C)	4240,0
Le complexe absorbant (meq/100g T.S.)	
Ca ⁺²	0.515
Mg ⁺²	0.005
Na ⁺	1.339
K ⁺	2.136

(*) Valeur moyenne de trois répétitions ; **ND** : non déterminé

Les boues analysées présentent une texture argileuse, avec un taux élevé en argiles (83.29%) et une teneur très faibles en sables. En se référant aux travaux de l’ENITA (2000), ces boues peuvent retenir un maximum de cations échangeables du fait qu’elles contiennent une quantité importante d’argiles.

Les résultats obtenus indiquent que les boues, avec un pH de 6.08, sont voisines de la neutralité (Mahma Sid-Ali, 1995).

La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau (Rejsek, 2002). Dans notre cas, la CE des boues utilisées dans le cadre de cette étude est de 4240 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Selon l'échelle de Durand, (1983), elles sont extrêmement salées.

L'azote est l'élément le plus déterminant de la valeur fertilisante des boues. Dans notre cas, les résultats de l'analyse ont montré que nos boues sont pauvres en azote.

L'humidité contenue dans les boues utilisées est de 59,96%. Elle est fonction du type de station d'épuration, certaines mettent en œuvre des moyens importants pour les opérations de déshydratation des boues. Pour notre station, le système de déshydratation est rudimentaire (lits de séchage), cela conduit à une variabilité de l'humidité des boues qui dépend du temps de séjour sur les lits et des conditions météorologiques.

La teneur en carbone organique permet d'évaluer le taux de matière organique de la boue, c'est à dire la fraction de la boue susceptible d'être facilement biodégradée dans le sol. Les résultats (tableau VI) montrent la richesse des boues étudiées en matières organiques (carbone organique en moyenne de 4,44%). Selon Morel (1977), l'aptitude d'une boue à la minéralisation est en relation avec sa teneur en matière organique totale, plus elle sera riche en carbone organique total, plus sa minéralisation dans le sol sera intense.

Le phosphore, dont la plupart des sols sont mal pourvus, compte pour 0.1 à 0.4% de matière sèche (Donahue, 1980), un épandage des boues peut combler ce déficit puisqu'elles contiennent une teneur élevée en cet élément, qui joue un rôle déterminant dans le transfert d'énergie. La teneur du phosphore des boues utilisées dans nos essais (0.667%), se situe au-dessus des normes citées par le même auteur.

Les boues, avec une teneur de 2,136 meq/100g T.S, sont très riches en potassium (Annexe 6). Le sodium : là encore, il s'agit d'un élément dont les teneurs dans les boues sont très solubles et par conséquent il est lié à l'humidité de celles-ci.

Le calcium est indispensable pour la croissance des racines. Mais la plupart des sols sont abondamment pourvus en calcium assimilable par les plantes. Un apport de boues peut corriger cette pauvreté puisqu'elles contiennent une teneur élevée en cet élément qui se trouve probablement sous une forme relativement mobile. En effet, plusieurs auteurs

signalent avoir observé un accroissement significatif de la teneur en calcium des végétaux après une application de boues (Pommel, 1981). La teneur du calcium des boues utilisées dans nos essais (0.515 meq/100g T.S) est très pauvre.

Les teneurs en Magnésium total pour les boues (0.005 meq/100g T.S) sont relativement faible. Selon Bazi (1992), L'évolution du niveau du calcium et de magnésium dans le sol est l'un des facteurs à considérer dans des sols recevant des rapports répétés de boues.

III. Effet des boues sur le développement des plantes de *Vicia faba* L.

Dans le but de connaître l'effet de l'épandage des boues sur le développement de la légumineuse *Vicia faba* L. cultivée sur un sol argileux et ayant reçu un apport de boues, nous avons procédé à l'évaluation de certains paramètres morpho-physiologiques. Ces mesures ont été effectuées après 60 jours de culture.

1. Paramètres morphologiques

Les résultats des paramètres morphologiques sont consignés dans le tableau VII.

Tableau VII : Effet des boues sur les paramètres morphologiques de *Vicia faba* L.

Traitements	Hauteur (cm/plante)		Poids frais (g/plante)		Poids secs (g/plante)		Matière sèche (%)	
	Parties aériennes	Parties racinaires	Parties aériennes	Parties racinaires	Parties aériennes	Parties racinaires	Parties aériennes	Parties racinaires
T0	58,9^a ±1,1	14,9^a ±1,63	3,7^a ±0,67	0,9^a ±0,0	0,3^a ±0,03	0,1^a ±0,05	9,2^a ±1,46	15,03^a ±11,5
T1	47,0^a ±05,8	14,7^a ±4,02	3,7^a ±0,25	0,7^a ±0,46	0,3^a ±0,06	0,08^a ±0,03	8,5^a ±0,86	11,4^a ±3,46
T2	54,7^{ab} ±4,4	14,1^a ±0,26	3,1^a ±0,0	0,7^a ±0,08	0,3^a ±0,04	0,08^a ±0,05	8,3^a ±0,79	8,9^a ±5,6
T3	58,6^a ±3,8	13,7^a ±4,84	2,9^a ±0,3	0,7^a ±0,2	0,2^a ±0,01	0,05^a ±0,01	7,6^a ±0,61	8,0^a ±1,52

Les chiffres en gras représentent la moyenne de 03 répétitions ± écart-types. Si les moyennes sur une même colonne portant les mêmes lettres, elles ne sont significativement différentes au seuil ($p \leq 0,05$)

L'analyse de la variance a révélé un effet significatif du aux traitements sur la variable hauteur des parties aériennes ($p \leq 0,05$). La comparaison des moyennes par le test de Tukey (HSD) indiquent que la hauteur foliaire diminue en fonction des doses de boues. Cette diminution est significative pour les traitements T1 et T2, alors qu'elle ne l'est pas avec le traitement T3. Les taux de diminutions sont de 20,14% et de 7,16% respectivement pour T1 et T2 par rapport au témoin (T0). De même, l'analyse de variance n'a pas montré un effet significatif des traitements sur les variations de la longueur des parties racinaires. En effet, La longueur des racines ne change pas dans les quatre traitements (T0, T1, T2 et T3).

Ces résultats laissent penser que l'apport de boues de la STEP n'améliore pas la taille des parties aériennes et racinaires de la fève cultivée sur le sol de BBA, et ce quelque soit la dose des boues appliquées.

Comme pour la hauteur, l'addition des boues n'améliore pas les poids secs des parties aériennes et racinaires de la fève. L'analyse de la variance a révèle un effet non significatif entre les différents traitements sur les poids frais et secs aussi bien des parties aériennes et racinaires des plantes de *Vicia faba* L. En effet, le test de Tukey classe les différents traitements en un seul groupe homogène.

De mêmes, l'analyse de la variance a révélé un effet non significatif entre les différents traitements sur la biomasse sèche. Le test de Tukey classe les différents traitements en un seul groupe homogène. Au contraire, l'apport de boues semble avoir une incidence négative sur le taux de matière sèche.

- Surface foliaire

Les résultats de la figure 07 montrent que l'apport des boues a diminué la surface foliaire, quel que soit la dose appliquée. En effet, l'analyse de variance a révélé un effet significatif du aux traitements ($p \leq 0,05$). La comparaison des moyennes par le test de Tukey (HSD) indiquent que la surface foliaire diminue en fonction des doses de boues, excepté pour le traitement T1. Cette diminution est significative pour les traitements T2 et T3. Les taux de diminutions sont de 28,86% et de 33,71% respectivement pour T2 et T3 par rapport au témoin (T0).

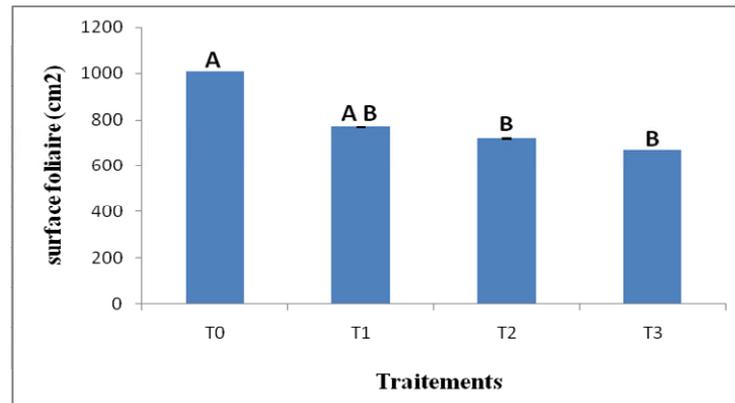


Figure 07: Effet des boues sur la surface foliaire des plantes de *Vicia faba* L.

(Deux histogrammes portant des lettres différentes, ils sont significativement différents au seuil $p \leq 0,05$)

On peut conclure que les boues n'ont pas amélioré les paramètres morphologiques des plantes de la fève. Ce phénomène peut être expliqué soit par la salinité élevée des boues qui semble exercer un effet stressant qui provoquerait un dysfonctionnement biochimique des cultures mais sans perturber la croissance des plantes, soit par le fait que les plantes n'ont pas reçu des apports appréciables d'azote, parce que cet un élément favorisant le développement foliaire .

Selon Mauriès (1994) cité par Boudebous (2009), les conditions édaphiques (notamment la salinité) et hydrique (quantité d'eau et le mode d'irrigation) jouent un rôle très important dans la croissance végétative de la plante, ce qui se traduit par le développement des paramètres morphologiques de la plante. Par ailleurs, Abdelguerfi (1976) cité par Boudebous (2009) précise que les faibles hauteurs sont une forme d'adaptation pour une meilleure résistance au froid excessif, au

2. Paramètres physiologiques

- Teneurs en proline

La figure 08 indique que la teneur de la proline dans la partie aérienne de la fève augmente avec l'augmentation de la dose d'épandage des boues. L'analyse de variance a révélé un effet hautement significatif du traitement. La comparaison des moyennes par le test Tukey montre que l'augmentation de la proline est proportionnelle à l'augmentation de la dose des boues. Les taux d'augmentation de la proline foliaire sont de 32,8%, 105,2% et 185,7% respectivement pour T1, T2 et T3 par rapport au témoin T0.

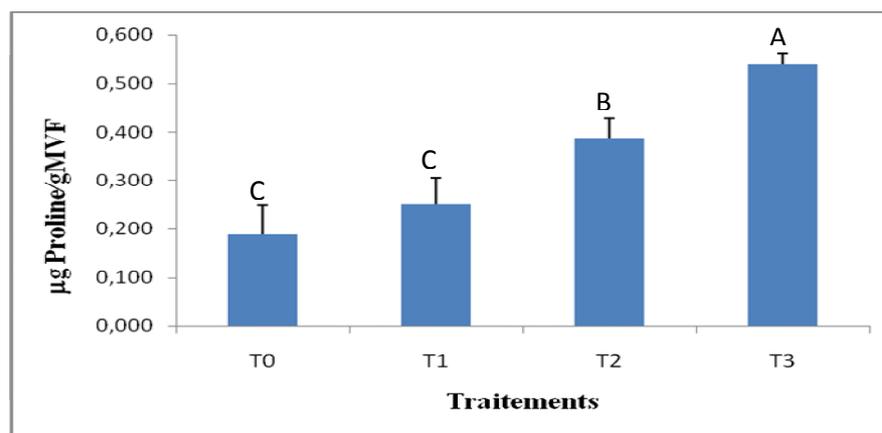


Figure 08 : Effet des boues sur les teneurs en proline dans les plantes

(Deux histogrammes portant des lettres différentes, ils sont significativement différents au seuil $p \leq 0,05$)

L'augmentation de la teneur en proline dans les feuilles des plantes de *Vicia faba* L. cultivées sur les sols de BBA, serait liée directement à la richesse des boues en sels qui ont provoqué un dysfonctionnement biochimique des cultures comparable à un stress salin, mais sans perturber la croissance des plantes. En effet, la proline est un acide aminé souvent considéré comme un bio marqueur de stress (Dinakar et *al.*, 2008 ; Szabados et Savouré, 2009).

- Teneurs en chlorophylle

La figure 09 montre que l'addition des boues au sol diminue la teneur en chlorophylle totale des feuilles de *Vicia faba* L. En effet, l'analyse des moyennes montre que seul le traitement T3 diminue d'une façon significative ce paramètre. Les taux de diminution de la chlorophylle totale est de 4,71%, 15,5% et 34,44% respectivement pour T1, T2 et T3 comparativement au témoin T0.

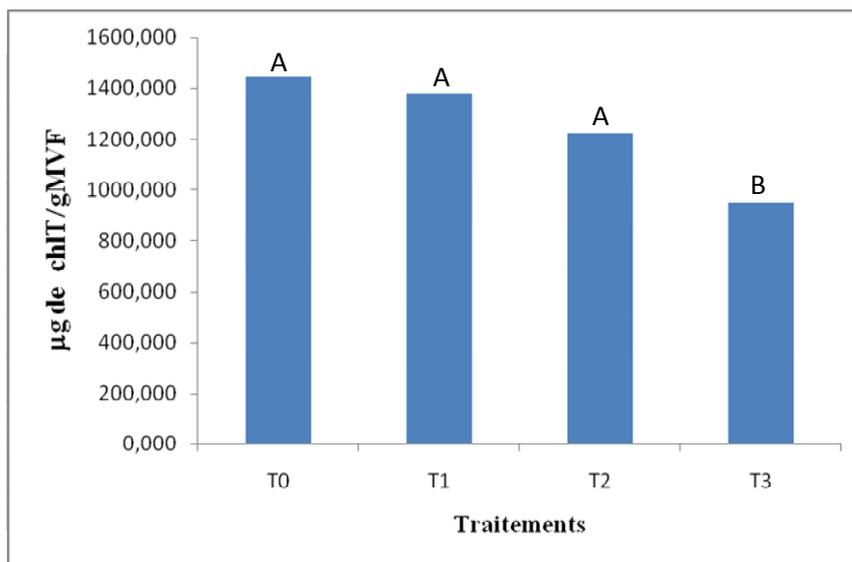


Figure 09: Effet des boues sur les teneurs en chlorophylle totale dans les plantes de *Vicia faba* L.

(Deux histogrammes portant des lettres différentes, ils sont significativement différents au seuil $p \leq 0,05$)

La chlorophylle est indispensable pour l'activité photosynthétique de la plante qui consiste à produire de l'énergie chimique (ATP) à partir de l'énergie lumineuse du soleil.

Nous avons procédé au dosage des teneurs en chlorophylle totale, paramètre susceptible de nous indiquer un éventuel stress, car considérée comme bio marqueur dans le cadre d'un stress ou d'une toxicité des végétaux (Dewez et *al.*, 2007). Les résultats illustrés sur les figures de la proline et de la chlorophylle montrent une certaine proportionnalité entre les teneurs en proline, les teneurs en pigments chlorophylliens accumulées. La plante qui accumule plus de proline est aussi celle qui connaît une diminution de ses teneurs en pigments chlorophylliens et vice versa (Dewez et *al.*, 2007). Ces observations laissent indiquer que le développement des cultures de la fève sur sol amendé avec les boues résiduelles se déroulent dans des conditions non optimales et que la fonction photosynthétique a enregistré un léger dysfonctionnement métabolique du au stress engendré par la salinité élevée des boues.

Bengston et *al.* (1978), Reddy et Veeranjanyulu (1991) suggèrent l'existence d'une relation vraisemblable entre les voies de biosynthèse des pigments chlorophylliens et de la proline. Cette évolution pourrait se traduire par une compétition entre ces deux composés sur leur précurseur commun qui est le glutamate.

- Teneur en eau

Les profils de la teneur en eau mesurés au cours des essais ont montré qu'il n'y a pas de différences significatives entre les traitements (Figure 10).

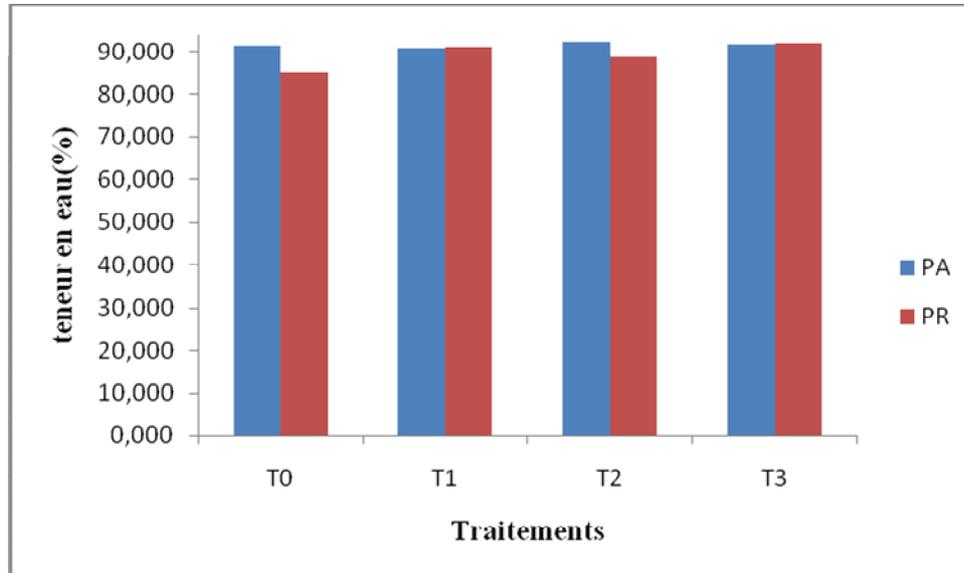


Figure 10: Effet des boues sur la teneur en eau des plantes de *Vicia faba* L.

Bien qu'ils n'ya pas de différence significative, les résultats montrent que les doses de boues apportées au sol ont un effet négatif sur la teneur en eau surtout dans la partie racinaire des plantes ; ceci serait lié à la mauvaise croissance de *Vicia faba* L.

3. Paramètres de la nutrition minérale

- *Le contenu azoté des plantes*

Les résultats de variation de la quantité de l'azote accumulé dans les parties aériennes et racinaires sont représentés dans la figure 11. L'examen de cette figure révèle que la valeur maximale est enregistrée dans le traitement T2, suivie du traitement T3. Par contre, une moindre allocation de l'azote aux parties aériennes est notée dans le traitement T1.

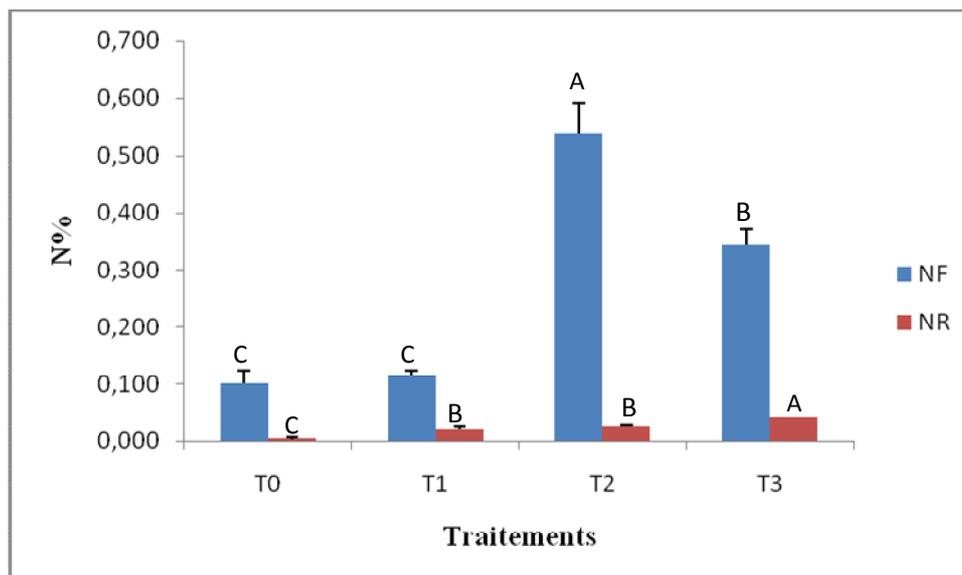


Figure 11 : Effet des boues sur le contenu azoté dans les plantes de *Vicia faba* L.

(Deux histogrammes portant des lettres différentes, ils sont significativement différents au seuil $p \leq 0,05$)

Quant à la partie racinaire, le teneur de l'azote accumulé dans les racines augmente significativement en fonction des doses de boues. La comparaison des moyennes a montré que la teneur en N est plus élevée obtenues avec T3, avec une teneur moyenne de 0,043%, suivie de T2 et T1 avec des teneurs moyennes respectivement de 0,026 et 0,021%.

Les résultats de la figure démontrent une augmentation du contenu azoté des parties aériennes et racinaires de la plante, ceci indique que la plante n'est pas affectée par les faibles variations des propriétés du sol, mais au contraire elle semble réagir mieux à l'apport des boues malgré leur pauvreté en éléments fertilisants, notamment l'azote.

- Le contenu du phosphore (P) des plantes

La figure 12 montre que la teneur en phosphore total (P) des parties aériennes de la plante augmente en fonction des doses de boues. L'analyse de variance a révélé un effet très hautement significatif des traitements. La comparaison des moyennes a montré que la teneur en P est maximale au traitement T1, avec une teneur de 0.058% de la masse de la MS, suivie de T2 et T3 avec des teneurs respectivement de 0,048 et 0,049%.

Quant à la quantité racinaire en P, l'analyse de la variance a révélé un effet non significatif entre les différents traitements. Le test de Tukey classe les différents traitements en un seul groupe homogène (A).

Le phosphore a pour rôle de renforcer la résistance des plantes et contribue à la croissance et au développement des racines, de la fructification et de la mise à graine

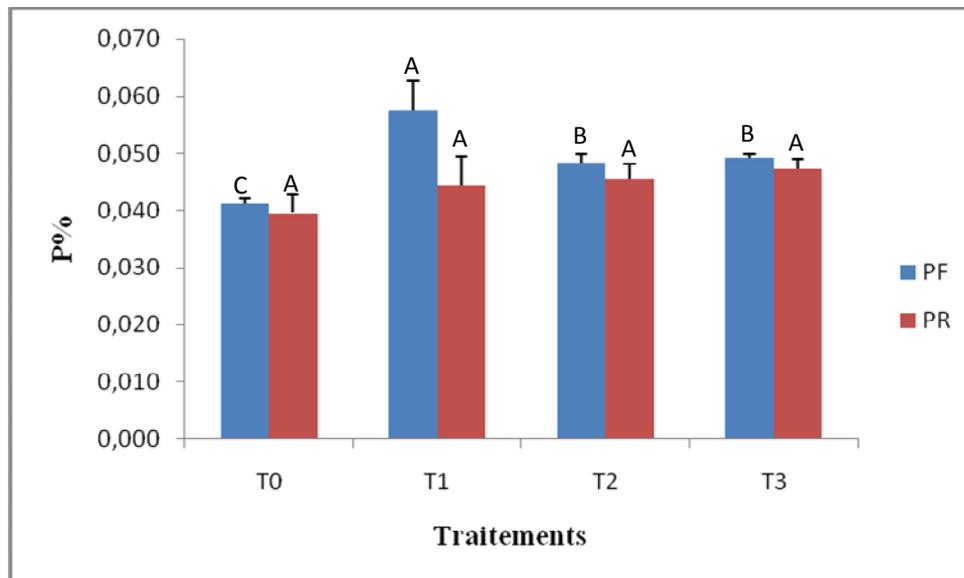


Figure 12: Effet des boues sur la teneur de phosphore dans les plantes de *V. faba* L.

(Deux histogrammes portant des lettres différentes, ils sont significativement différents au seuil $p \leq 0,05$)

- **Le contenu du potassium (K^+) des plantes**

La figure 13 montre que l'addition des boues au sol augmente la teneur en potassium des parties aériennes de *Vicia faba* L. En effet, l'analyse de variance a montré un effet significatif traitement. La comparaison des moyennes montre que le traitement T3 augmente d'une façon significative les teneurs de potassium des parties aériennes, suivi du traitement T2 et T1. Les taux d'augmentation du K^+ est de 5,74%, 14,96% et 32,35% respectivement pour T1, T2 et T3 comparativement au témoin T0.

Comme pour les parties aériennes, le contenu du potassium dans les racines augmente significativement en fonction des doses de boues. Le test de Tukey fait ressortir quatre groupes distincts : un groupe A représente les moyennes les plus élevées obtenues avec T3, le groupe AB représenté par le traitement T2, le groupe BC reflète la moyenne obtenue par le traitement T1, ensuite le groupe C représente la moyenne la plus faible obtenue par le témoin T0. Les taux d'augmentation du K^+ est de 19,58%, 44,2% et 59,1% respectivement pour T1, T2 et T3 comparativement au témoin T0.

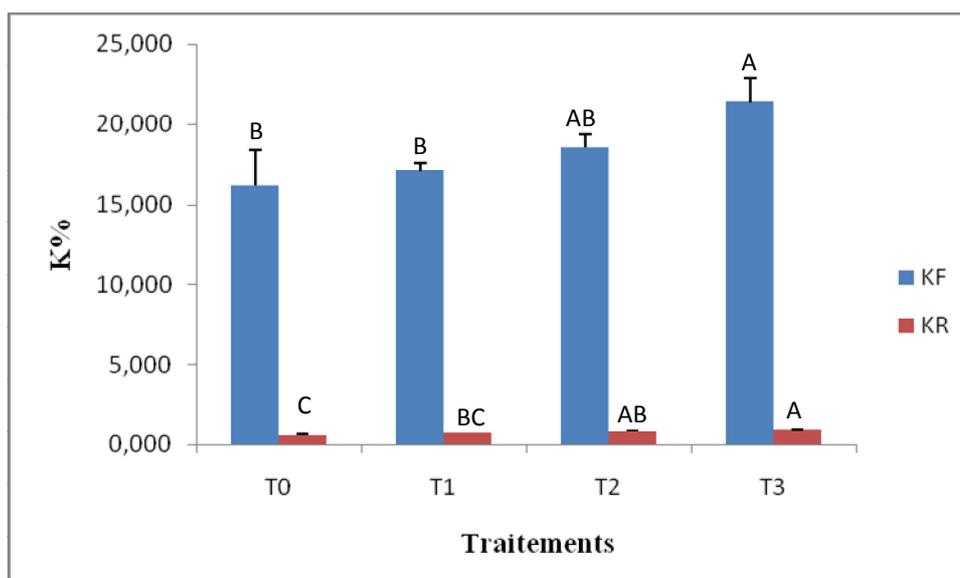


Figure 13 : Effet des boues sur la teneur de potassium dans la plantes de *Vicia faba* L.

(Deux histogrammes portant des lettres différentes, ils sont significativement différents au seuil $p \leq 0,05$)

IV. Effet des boues sur l'évolution des paramètres physico-chimique des sols

Afin d'évaluer l'effet des boues sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol, nous avons suivi les paramètres suivants : pH, CE, N% et C%. Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau VIII.

Tableau VIII: Effet des boues sur l'évolution des paramètres physico-chimiques du sol

Traitements	C%	MO%	N%	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)
T0	$0,18^c \pm 0,01$	$0,31^c \pm 0,01$	0	$8,5^a \pm 0,25$	$1014,6^a \pm 100,08$
T1	$0,21^c \pm 0,1$	$0,36^c \pm 0,1$	0	$7,8^b \pm 0,10$	$1228,0^b \pm 103,5$
T2	$0,57^b \pm 0,1$	$0,98^b \pm 0,01$	0	$7,8^b \pm 0,02$	$1901,0^b \pm 117$
T3	$0,78^a \pm 0,12$	$1,34^a \pm 0,2$	0	$7,7^b \pm 0,04$	$2546,6^c \pm 187,7$

Pour un même paramètre, deux résultats sur une même colonne accompagnés d'une même lettre, ne diffèrent pas significativement au seuil de 5 %.

Il ressort de ces résultats qu'après 60 jours de culture, la matière organique du sol augmente proportionnellement avec la dose des boues. L'analyse de variance a révélé un effet hautement significatif entre les quantités de boues appliquées au seuil ($p \leq 0,05$). Les taux de matière organique enregistrés varient de 1,34% à 0,98% respectivement aux traitements T3 et T2, et de 0,36% à 0,31% respectivement pour T0 et T1.

Selon Morel (1977), l'aptitude d'une boue à la minéralisation est en relation avec sa teneur en matière organique totale, plus elle sera riche en carbone organique total, plus sa minéralisation dans le sol sera intense.

Il y a lieu de remarquer que les échantillons de sols amendés avec des boues sont pauvres en azote.

Par ailleurs, les résultats obtenus attestent que le pH du sol diminue progressivement avec l'augmentation de la dose de boue épandue par rapport au témoin. Il passe de 8,5 pour le témoin T0 à 7,8, et 7,7 pour T1, T2 et T3, respectivement. A ce titre, nous considérons que l'épandage des boues, à court terme, a eu une action prépondérante sur le pH du sol. Cette diminution du pH de sol est due probablement à la dégradation de la matière organique qui s'accompagne le plus souvent de la libération des éléments qui acidifient le milieu. D'après Kaouritchev et *al.* (1980), un pH voisin de la neutralité donne un sol favorable à la culture, et quand il s'écarte de cette neutralité il y a un blocage des échanges nutritionnels.

Concernant la conductivité électrique des sols, les résultats de l'analyse de la variance montrent un effet très significatif au niveau des différents traitements au seuil de probabilité ($p \leq 0,05$). Les doses de boues testées entraînent une augmentation de la salinité du sol par rapport au témoin. La comparaison des moyennes par le test de Tukey (HSD) au seuil de 5% fait apparaître trois groupes homogènes : A, B et C. Le groupe A rassemble T3, avec une CE de 2546,667 $\mu\text{s/cm}$, la plus élevée. Ensuite, vient le groupe B qui est constitué du traitement T2 avec une CE de 1901,0 $\mu\text{s/cm}$. Enfin, vient le groupe C, constitué du témoin T0 et T1 avec une CE respectivement de 1014,6 et 1228,0 $\mu\text{s/cm}$.

Les valeurs élevées de la conductivité enregistrées au niveau des traitements T1, T2 et T3 pourront être expliquées par la salinité élevée des boues qui se trouve dans le volume important des rejets domestiques ainsi qu'aux effluents.

Conclusion

Conclusion

Notre travail avait pour but de mettre en évidence la possibilité des boues sur la croissance et le développement d'une légumineuse (*Vicia faba* L.) en premier lieu, et sur les propriétés des sols en deuxième lieu. L'essai en pots contenant le sol de BBA, amendé de boues à différentes concentrations et cultivé par la fève.

Les résultats des analyses physico-chimiques du sol, des boues et des paramètres morpho-physiologiques des plantes ont conduit aux conclusions suivantes :

Le sol de BBA utilisé dans le cadre de cette étude présente une texture argileuse, pauvre en matière organique, non salin et caractérisé par sa richesse en calcaire.

Par ailleurs, les résultats des analyses des boues résiduelles ont montré qu'elles présentent une texture argileuse, avec une CE extrêmement élevée. Elles sont riches en matière organique, en phosphore, par contre elles sont dépourvues en azote.

Enfin, l'essai conduit en pots et les mesures biométriques et analytiques effectuées après 60 jours de culture, nous ont permis de mettre en évidence un effet net de l'apport des boues sur le développement végétatif de la plante *Vicia faba* L. Les effets observés sont :

- la diminution des paramètres morphologiques, à savoir la longueur, les poids frais et secs, la MS des parties aériennes et racinaires, ainsi que la surface foliaire.
- l'augmentation de la proline, qui constitue un signe révélateur d'un stress ou d'un dysfonctionnement du métabolisme du végétal, ceci serait lié à la charge des boues en sels ou en ETM.

Malgré l'amélioration de quelques paramètres de nutrition minérale 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 et sur certaines propriétés physiques des sols.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- Abdullah S., (1979).** The origin and evolution of *Vicia faba* L., in Proc. Ist méditerranéen conf. Genet. p713-746.
- ADEM., (1999).** Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, *Ademe édition*, Paris, pp.159.
- ADEME., (1996).** La valeur azotée des boues résiduelles urbaines (réalisé en collaboration avec l'Institut National Agronomique –Paris –Grignon/ADEPRINA).336p.
- ADEME., (2001 b).** Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture, *Ademe édition*, Paris, pp.59.
- Adne A., (2005).** Characterization and genome organization of new lute viruses and Nanoviruses infecting cool season legume Food. *Edit Cuvillier-Verlag* Göttingen, pp157.
- Albrecht R., (2007).** 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. P 72-74.
- Amir S., (2005).** Contribution à la valorisation de boues de stations d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du compost .Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Institut National Polytechnique de Toulouse –France, 312p.
- Arnon D. I., (1949).** Cooper enzymes in isolated chloroplastes polyphenoloxydase in *Beta vulgaris* .*Plant Physio.* **24**, 1-25.
- Aubert G., (1978).** Méthode d'analyses des sols. Centre nationale de documentation pédologique, CP/Dp.Marseille.191 P.
- Baize D., (1988).** Guide des analyses courantes en pédologie I.N.R.A, France imprimé par Jouve, Paris 172 p
- Bates L. S., Waldren R. P., Teare I. D., (1973).** Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.* **39**, 205-207.
- Bechaux J., (1978).** Mémento technique. De l'eau-*Degremont*, 1100p.

- Bechaux J., (1978).** Mémento technique. De l'eau-*Degremont*, 1100p.
- Belkhodja M., (1996).** Action de la salinité sur le comportement physiologique, métabolique, minérale et recherche de marqueurs moléculaires chez la fève (*Vicia faba* L.). Thèse de Doctorat en Es-science naturelle ,255P.
- Benachour K., Louadik., Terzo M., (2007).** Rôle des abeilles sauvages et domestiques (*Hymenoptera apoidea*) dans la pollinisation de la fève (*Vicia faba* L.) en région de Constantine (Algérie). *J. Plant Physiol.* **152**, 213-219.
- Bengston C., Klockare B., Klockar R., Larsson S., Sundquist C., (1978).** The after effect of water stress on chlorophyll formation during greening and the level of abscisic acid and proline in dark grown wheat seedlings. *Plant Physiol.* **43**, 205-212.
- Beraud., (2007).** Etude des effets écotoxiques et de l'induction des phytochélatines chez *Vicia faba* L. (fabaceae) exposée au cadmium. Application de test Vicia –micronoyaux à des matrices. Metz .Université de Mets 107p. Thèse de doctorat.
- Blondeeau., (1985).** Le traitement centralisé des boues. *T.S.M. l'eau*, n°6, juin 107p.
- Bousselhaj P., (1996).** Etude du potentiel fertilisant (N et P) de deux boues de stations d'épuration par lagunage anaérobie et par boues activées.
- Brame., (1986).** Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines. Série documents techniques A.F.E.E. France.**35**, pp. 191-200.
- Brossard M., Mench M., Clairon M., (1989).** Effet d'un apport de boue urbaine sur l'évolution à court terme des formes du phosphore d'un sol ferrallitique .*CR CFCS* Guadeloupe.
- Carlu J., (1952).** Fèves et féveroles. *Larousse agricole*, 204p.
- Chapman H.D., Pratt P.F., (1961).**Method of analysis for soils, and waters.
- Degremont., (1978).** Mémento technique de l'eau, 1236p-8^{eme} ed, 178, relié.
- Dommergues Y., Dreyfus B., Duhoux E., (1985).** Dans *Ecotoxicology and Environmental Safety.* **17**, 119-130.
- Duchene. P., (1990).** Les systèmes de traitement des boues de station d'épuration des petites collectivités .*TEC et DOC*, 1^{ere} édition, éd. Cemagref. Paris, 30p.Duc.,Mignolet c., Carrouée B

Ducj A., (1981). Manuel des légumineuses d'importance économique du monde pression D'Espace ; New York-p 199-255.

Durand J. H., (1983). Les sols irrigables, étude pédologique. Ed . Département de géographie de l'université de Paris .Sorbonne ,389p.

Elalaoui A., (2007). Fertilisation minérale des cultures. Les éléments fertilisants majeurs (Azote, Potassium, Phosphore). *Bulletin mensuel d'information et de liaison du Pnta*.Tranfert de technologie en agriculture, **155**.

Emillian K., (2004). Traitement des pollutions industrielles. Ed Dunod, Paris, 424p.

ENITA (Ecole Nationale d'Ingénieurs de Travaux Agricoles) de Bordeaux **(2000).** Agronomie aux nouvelles orientations. *Edition Synthèse agricole*.339p.

FAO., (2006). Notion de nutrition des plantes et de fertilisation des sols. Manuel de formation. Projet intranes Promotion de l'Utilisation des Intrants agricoles par les Organisation de Production 7-9p

Feillet P., (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. INRA Edition, pp308.

Feller C., (1995). La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahéliennes et soudaniennes. *Agriculture et développement*. **8** ,35-41.

Ferand W., (1967). Fleurs du bassin méditerranéen. Paris VI édition

Foltete A. S., (2010). Effets écotoxiques et systèmes de détoxification chez *Vici faba* .L (fabaceae) dans le cadre des sols polluées. Thèse de Doctorat.Université de Paul Verlaines Meets .245p

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

Gallais., Bannerot., (1992). Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. 1, *Paris*, P 266.

- Grenier Y., (1989).** La valorisation des boues d'épuration des eaux pour la fertilisation des forêts. Thèse ing Canada, rech, Forest, 189 p.
- Guy Atlan M., (2003).** Les boues d'épuration leurs perspectives de gestion en Ile de France. Thèse, doctorat, Paris, 128p.
- Herzog H., (1984).** Relation of source and sink during grain filling period in wheat and some aspects of its regulation .*Physiol.Plant.* **56**, p.155-160.
- ITCF., (2001).** Boues des stations d'épuration municipale : institut technique des céréales et de fourrages.
- Jarde E., Mansuy L., Faure P., (2003).** Characterization of the macromolecular 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.
- Kolev N., (1976).** Cultures maraichères en Algérie. (I) FAO, p.178-186.
- Kormanik R. A., (1977).** Technologie transfer seminar on sludge handling and disposal
- Ladizinskyg., (1975).** On the origin of the broad bean *Vicia faba* L . *Bot.* **24**, p80-88.
- Laumonier R., (1979).** Cultures légumières et marichaires Tome III. Ed. JB Bailierre 276p
- Levesque L., (1982).** Traitement des boues de station de production d'eau potable. Association française pour l'étude des eaux ,68p.
- Mahma SA., (1995).** Caractérisation physico –chimique des boues de station d'épuration de Touggourt : Intérêt agricole Thèse d'Ingénieur, ITAS, Ouargla .65p
- Mathian R., (1986).** Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines.I.R.C.H.A, documents techniques.
- Mench M., Clairon M., Sobesky O., Nagou D., (1989).** Dynamique en temps de l'azote minéral en sol ferrallitique nu après apport d'une boue urbaine .*Agronomie.***9**, 785-793.
- Metcaf., Eddy., (2004).** Inc.Wastewater Engineatment and Reuse .Fourth Edition ,revised by George Tchobanoglous ,Franklin .Burton ,and H.David Stensel .Mcgra w Hill.
- Morel J. L., (1977).** Contribution à l'étude de l'évolution des boues résiduares dans le sol. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Nancy 1, France, p 117.

Murillo M., (2004). Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une boue –Application la Réduction de la Production de Boue, Thèse de doctorat, INSA

Nori., (2012). La réponse de la fève *Vici faba L.* au stress salin .cas d'un sol sableux amendé en bentonite (thèse de magister .89). Office nationale d'assainissement 2004.Souk-Ahras.

Papvc., (2009). Pole Agronomique Production Végétales Chambres d'Agriculture de Bretagne (Revue)-Cap Agro. Printemps, 41-42.

Radetski CM., Ferrari B., Cottele S., Masfareaud JF., Ferard JF., (2004). Evaluation of the genotoxic, mutagenic and oxidant stress potentials of municipal solid waste incinerator bottom ash lactates. *Sci .Total Environ* .333(1-3), 209 -218

Rejsek F., (2002). Analyse de l'eau : Aspects réglementaire et technique .Edition Centre Régional de Documentaire technique Pédologique d'Aquitaine. France .358 p.

Saxena M. C., (1991). Status and scope for production of fababean in Mediterranean and countries .Options Méditerranées.Série Seminars.**10**, 15-20.

Singh K. P., Mohan D., Sinha S., Dalwani R., (2004). Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural ,and environmental quality in the wastewaters disposal area .*Chemosphere* .**55**,227-255.

Singh R. J., Jauhar P. P., (2005). Genetic resources ,chromosome engineering and crop improvement, Volume 1,Grain Legumes .Ed CRC Press Taylor and Francis Group 363

Soltner., (2005).Les bases de la production végétale-Tome I : Le sol et son amélioration .les collections et techniques agricoles ,22^{ème} Editions .472P.

Vance C. P., Graham P. H., Allan D.L., (2000). Biological Nitrogen Fixation: Phosphorus-A Critical Future Need? In: Nitrogen Fixation :From Molecules to Crop Productivity .*Current Plant Science and Biototechnology in Agriculture*.**38**,Springer Netherlands,509-514p.

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

Waiciechowski M. F., Lavin M., Sanderson M. I., (2004). Phylogeny of legumes leguminous based on analysis of the plastid mat K gene resolves many wellsupportedsubclades with the family.*Am I*, pp.1846 1862.

Werther J., Ogada T., (1999). Sewage sludge combustion .Progress in Energy and Combustion. Science .**25**, 55- 116.

Wikipedia., (2010). Salinisation : site web

Williams P. E., (1988). Amélioration de la qualité alimentaire des légumineuses fraîches de la nourriture de saison éditeurs d'universitaire de Kluwer .Dordrecht .pays 133-129.

Reddy P. S., Veeranjanyulu K., (1991). Proline metabolism in senescing leaves of horsgram (Macrotyloma uniflorum Lam.). J. Plant. Physiol. 137, 381-383.

Dinakar N., Nagajyothi P. C., Suresh S., Udaykiran Y., Damodharam T., (2008). Phytotoxicity of cadmium on protein, proline and antioxidant enzyme activities in growing Arachis hypogaea L. seedlings. Journal of Environmental Sciences. **20**, 199-206.

Szabados L., Savoure A., (2009). Proline: a multifunctional amino acid. Trends in Plant Science.**15**, 89-97.

Format électronique

AMORCE. (2012). Boues de station d'épuration : technique, valorisation et élimination .Série Technique DT 51 .Novembre 36p (http://amorce.asso.fr/media/2f/2fafae8c-4bed-45e0-b40e-75b418fd3147/dt51_boues_de_step_traitement_valorisation_et_liminationio.pdf).

(Consulté 02/05/2015)

Source : programme d'interprétation LANO/CD de Basse Normandie

Office National de l'Assainissement. (ONA, 2014). Perspectives de valorisation agricole et énergétique des boues issues des STEP en Algérie. http://WWW.ona.dz/IMG/pdf/Perspectives_de_valorisation_agricole_et_energetique_des_boues_issues_des_STEP_en_Algerie-2.pdf

Annexes

Annexes

Annexe 1

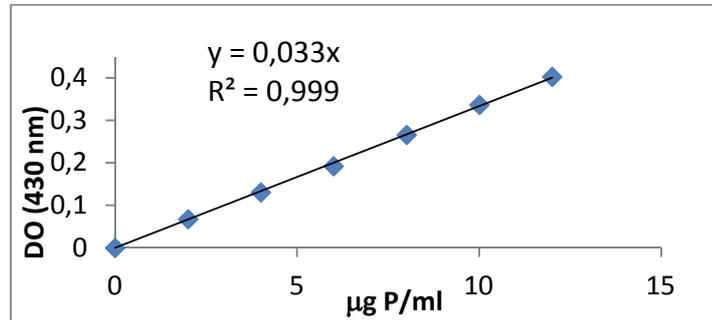


Figure : Courbe étalon du phosphore

Annexe 2

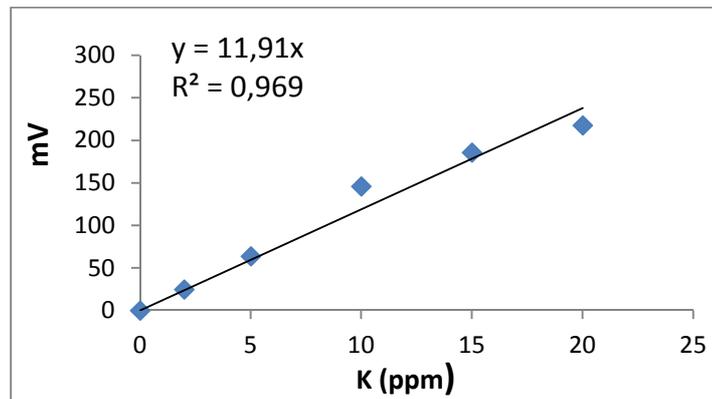


Figure : Courbe étalon potassium

Annexe 3

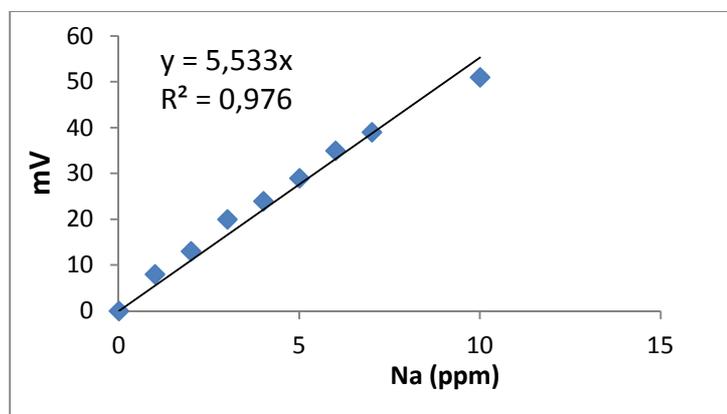


Figure : Courbe étalon sodium

Annexe 4

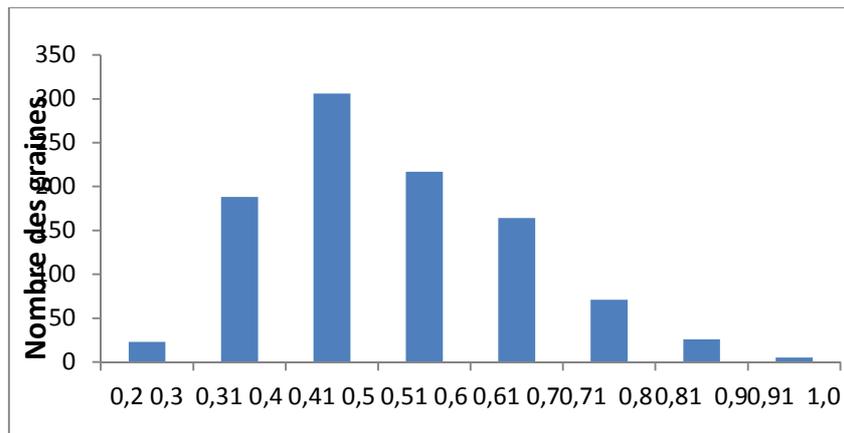


Figure : la distribution des graines de *Vicia faba* L. par classe de poids

Annexe 5 :

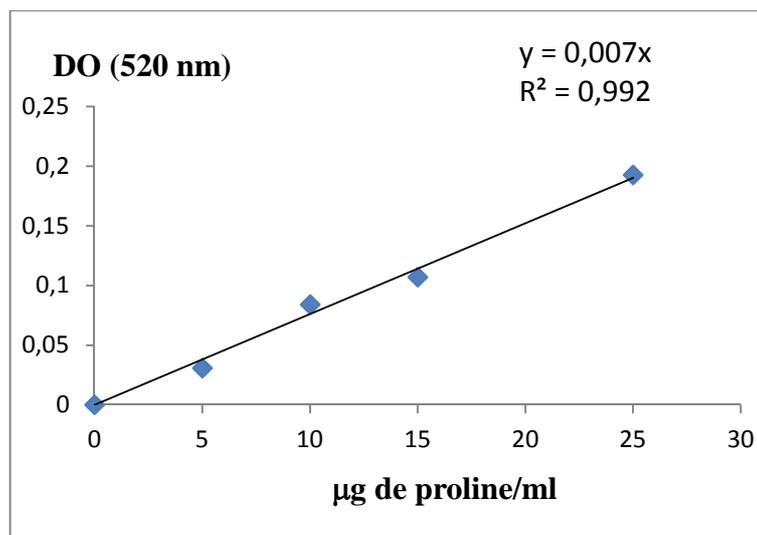


Figure : Courbe étalon de proline

Annexe 6 : Analyse de la variance

Paramètres	F	Pr > F
Hauteur des parties aériennes	5,287	0,027
Longueur des racines	0,088	0,964
Poids frais des parties aériennes	3,067	0,091
Poids secs des parties aériennes	1,657	0,252
Poids frais des racines	0,604	0,631
Poids secs des racines	0,539	0,669
Teneur en eau des parties aériennes	1,315	0,335
sTeneur en eau des parties racinaires	0,658	0,600
Azote des parties aériennes	126,096	0,0001
Phosphore des parties aériennes	18,076	0,001
Potassium des parties aériennes	7,664	0,01
Azote des parties racinaires	22,379	0,000
Phosphore des parties racinaires	2,721	0,115
Potassium des parties racinaires	19,058	0,001
Matière sèche des parties aériennes	1,315	0,335
Matière sèche des parties racinaires	0,658	0,600
Proline foliaire	9,444	0,005
pH sol après amendement	22,177	0,000
CE du sol après amendement	83,077	<0,0001
C% du sol après amendement	43,231	<0,0001

(*) les chiffres en gras indiquent que l'ANOVA révèle un effet significatif du traitement sur les paramètres mesurés (ex :proline foliaire)

Résumé

Le présent travail est réalisé pour évaluer l'impact des boues sur la croissance d'une légumineuse (*Vicia faba* L.), cultivée sur un sol argileux de BBA.

Les résultats préliminaires montrent que l'apport des boues à différentes concentrations n'ont pas permis d'améliorer, d'une part, le développement végétatif du *Vicia faba* L. et, d'autre part, la capacité de minéralisation des sols. Ce phénomène serait lié à la qualité physico-chimique des boues, notamment à leurs teneurs élevées en sels qui ont provoqué un dysfonctionnement métabolique des plantes suite un stress salin, ceci à travers une augmentation de la proline considérée comme bio marqueur.

Mots clés : Boues, sols, analyse physico-chimique, Valorisation agricole, *Vicia faba* L.

Abstract

This work is carried out to assess the impact of the sludge on the growth of a legume (*Vicia faba* L.), grown on a clay soil BBA.

Preliminary results show that the addition of sludge at different concentrations did not improve, on one hand, the vegetative development of *Vicia faba* L. and, secondly, the soil mineralization capacity. This phenomenon is related to the physico-chemical quality of the sludge, particularly their high salt contents which caused a metabolic dysfunction of the plants following salt stress, this through an increase of proline considered biomarker.

Key words: Sludge, soil physical and chemical analysis, Agricultural recovery, *Vicia faba* L.