

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

Faculté des Sciences Biologiques et des

Sciences Agronomiques

Département des Sciences Biologique



Mémoire

de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master II en Biologie

Spécialité: Gestion des Déchets Solides

Thème

*Impact des boues résiduaires sur les propriétés
physiques des sols agricoles dans la commune de
tizi -ouzou*

Réalisé par :

M^{elle} BAHMED Lamia

M^r CHIBANE Essaid

Devant le jury composé de :

M ^r BOUDJAMAA S.	Maitre-assistant A	UMMTO	Président
M ^{elle} OMOURI O.	Maitre assistante B	UMMTO	Promotrice
M ^{me} MESSOUS Alkama L.	Maitre de Conférences A	UMMTO	examinateur
M ^r Metna B.	Maitre de Conférences A	UMMTO	examinateur
M ^{me} OUAR S.	Chef de département	ONA de TO	Invité d'honneur

Promotion 2015 - 2016

Remerciements

Nous remercions « Dieu Tout Puissant » de nous avoir donné la santé, la patience et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

*Un merci tout particulier à notre promotrice **M^{lle} OMOURI .O***

Qui nous a proposé le sujet et nous a dirigé et orienté, nous tenons surtout à témoigner de sa disponibilité, sa positivité et sa motivation, ses conseils qui nous ont guidés dans l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude.

*Nous remercions **Mr BOUDJAMAA S.** qui, malgré sa lourde charge, elle a acceptée présider le jury.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements aux égards des membres de jury **M^{me} MESSOUS ALKAMA N,** et **Mr METNAB,** pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

Nous tenons aussi à exprimer nos remerciements aux responsables et personnel de la step Est de l'ONA pour nous avoir accueillis dans leurs établissements.

*Nous remercions **M^{me} ZOLIKHA K,** et toute l'équipe de laboratoire de L'INRAA à Alger*

Nous remercions l'équipe du laboratoire département biologie et agronomie pour leur accueil, leur collaboration et leur disponibilité.

*Nous remercions **M^{lle} ALI AHMED S.** qui nous a aidés à réaliser l'analyse statistique des résultats.*

*Nos remerciements vont également à **Mr** et **Mme HOUCHINE,** enseignants aux Département d'Agronomie, pour avoir répondu à toutes nos sollicitations et aussi à la mise à notre disposition du matériels demandés et le laboratoire.*

A tous ceux qui ont contribué à notre formation, particulièrement les enseignants de l'Institut d'Agronomie de Tizi-Ouzou, qu'ils trouvent tous, notre profonde reconnaissance, pour son aide précieuse et son soutien durant la phase finale de la réalisation de ce mémoire, merci à toi khaled.

Nous tenons à exprimer tout au fond de nos cœurs, nos reconnaissances à nos familles pour toute leur aide morale et financière.

Enfin, un grand merci pour tous ceux qui ont participé de près ou de loin dans la réalisation de ce modeste travail.

Table des matières

Introduction générale	1
Partie I: Synthèse bibliographique Les boues résiduaires et leur utilisation agricole.	
1. Définition d'une boue	3
2. Origine et formation des boues.....	3
3. Procédés de traitement des eaux usées	3
3.1. Les prétraitements	3
3.1.1. Le dégrillage.....	3
3.1.2. Dessablage.....	3
3.1.3 Dégraissage – Déshuilage	3
3.2. Le traitement primaire.....	3
3.2.1. Coagulation – floculation	3
3.2.2. Décantation	3
3.2.3. Filtration	4
3.3. Le traitement secondaire	4
3.3.1. Les traitements anaérobies	4
3.3.2. Les traitements aérobies	5
3.3.2.1. Les lits bactériens	6
3.3.2.2. Les boues activées	6
3.3.2.3. Le lagunage	6
3.4. Les traitements tertiaires	6
4. Les différents types de boues	7
4.1. Les boues résiduaires urbaines.....	7
4.2. Les boues biologiques ou secondaires	7
5. Caractéristiques des boues	7
5.1. Caractéristiques physiques	7
5.1.1. L'indice de MOHLMAN.....	7
5.1.2. L'indice des boues.....	8

Table des matières

5.1.3. Teneur en matière minérale	8
5.1.4. Matière sèche et siccité.....	8
5.1.5. Matière volatile.....	8
5.1.6. Pouvoir calorifique	8
5.1.7. Consistance de la boue	9
5.2. Facteurs caractérisant la structure des boues	9
5.2.1. La viscosité.....	9
5.2.2. Granulométrie.....	9
5.2.3. Nature de l'eau contenue dans la boue	10
5.3. Caractéristiques chimiques des boues	10
5.3.1. Acidité des boues.....	10
5.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO)	10
5.3.3. Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	11
5.4. Caractéristique biologique	11
5.4.1. Composition des matières organiques	11
5.4.2. Composition des matières minérales	11
5.4.3. Les Micropolluants organiques	11
5.5. La composition en éléments chimiques des boues.....	12
5.5.1. Le carbone	12
5.5.2. L'azote.....	12
5.5.3. Le phosphore	12
5.5.4. Le potassium.....	12
5.5.5. Le soufre.....	12
5.5.6. Le calcium, Le magnésium et le sodium.....	13
5.5.7. Les métaux lourds	13
6. Classification des boues	14
7. Traitement des boues.....	16

Table des matières

7.1. Stabilisation.....	16
7.1.1. Stabilisation biologique	16
7.1.2. Le compostage.....	17
7.1.3. La stabilisation chimique	17
8. Réduction de la teneur en eau de boue	18
8.1. L'épaississement	18
8.2. La déshydratation	18
8.3. Le séchage.....	18
8.3.1. Lit de séchage.....	18
8.3.2. Le séchage thermique	19
8.4. Les traitements d'hygiénisation	19
9. Devenir et valorisation des boues	19
9.1. La mise en décharge.....	19
9.2. L'incinération	19
9.3. Valorisation agricole des boues	20
9.3.1. La valeur fertilisante et amendant	20
10. Effet des boues résiduaires sur les propriétés physiques et chimiques du sol.....	21
10.1. La stabilité structurale.....	21
10.2. Réserve en eau.....	22
10.3. La perméabilité.....	22
10.4. La densité apparente.....	22
10.5. La porosité totale.....	22
11. Effet sur la croissance et le rendement	23
12. Impacts environnementaux et sanitaires des boues.....	23
13. Législation de l'épandage des boues.....	24
13.1. Dans les pays de l'union européenne	24
13.2. Aux Etats-Unis.....	25
13.3. En Algérie	25

Table des matières

Partie II: Matériels et Méthodes

1. Objectif de l'étude.....	27
2. Localisation de la station	27
3. Travaux effectués au niveau de la STEP	28
3.1. Analyses des boues	28
3.1.1. La matière sèche(MS)	28
3.1.2. Test de décantation V30	29
3.1.3. Matière volatile sèche (MVS)	29
4. Etude des sols épandus avec la boue	30
4.1. Le choix des parcelles	30
4.2. Localisation des parcelles	30
4.3. Echantillonnage.....	31
5. Analyse des échantillons de sol	38
5.1. Préparation des échantillons.....	38
a)Le séchage	38
b) Le tamisage	38
5.1.1. Densité apparente (Da).....	39
5.1.2. La densité réelle.....	40
5.1.3. La porosité	41
5.1.3. Stabilité structurale.....	41

Partie III : Résultats et discussion

1. Caractérisation des boues étudiées.....	45
1.1.Caractérisation des boues de l'Est	45
1.1.1. Matière sèche (MS).....	45
1.1.2. Matière volatile sèche (MVS).....	46
1.1.3. Décantation V ₃₀	47

Table des matières

2. Résultat d'analyses physiques du sol	48
2.1. Densité apparente	48
2.2. Densité réelle	49
2.3. La porosité.....	49
2.4. Stabilité structurale.....	50
2.4.1. Résultats de désagrégation totale par le test d'éclatement	50
2.4.2. Résultat du test d'imbibition par capillarité	52
2.4.3. Résultats après le test désagrégation mécanique.....	52
3. Discussion générale des résultats.....	53
3.1. Effet de l'amendement boues sur la densité apparente et la porosité totale des sols étudiés	53
3.2. Effet de l'amendement boues sur la stabilité structurale des sols étudiés.....	54
 Conclusion générale	55
Références bibliographies.	
Résumé.	

Figure 1 : Localisation de la station d'épuration via (Google Earth 2016)

Figure 2 : Photo illustrant la détermination de la matière sèche.

Figure 3: Photo illustrant le test de décantation V30.

Figure 4: Photo illustrant la détermination des matières volatiles sèches.

Figure 5 : Localisation des différentes parcelles via (Google Earth 2016).

Figure 6: prélèvement des échantillons avec la tarière pédologique.

Figure 7 : Image satellite de la 1^{ère} la parcelle (Google Earth 2016).

Figure 8 : Image satellite de la 2^{ème} la parcelle (Google Earth 2016).

Figure 9 : Image satellite de la 3^{ème} la parcelle (Google Earth 2016).

Figure 10 : Image satellite de la 4^{ème} la parcelle (Google Earth 2016).

Figure 11 : Image satellite de la 5^{ème} la parcelle (Google Earth 2016).

Figure 12 : Image satellite de la 6^{ème} la parcelle (Google Earth 2016).

Figure 13 : Séchage des échantillons a l'aire libre au laboratoire.

Figure 14 : Tamisage des échantillons avec un tamis de 2mm.

Figure 15 : Densité apparente (Da).

Figure 16 : Tamisage et pesage des sols à 2 et 5mm

Figure 17 : Le test d'humectation à l'eau

Figure 18 : Figure 18 : Test d'humectation par capillarité

Figure 19 : Désagrégation mécanique par agitation après réhumectation

Figure 20 : Représentation des teneurs en matière sèches des boues de la STEP Est

Figure 21 : Représentation des matières volatiles sèches de la boue de la step Est

Figure 22 : Représentation des résultats de la décantation des boues du prélèvement

Figure 23 : Les valeurs de la densité apparente des sols amendés et non amendés

Figure 24 : Evaluation de la densité réelle des différents sols étudiés

Figure 25 : Les porosités totale des sols amendées et non amendées

Figure 26: Représentation en pourcentage des différent fractions après éclatement à l'eau

Figure 27 : Présentation en pourcentage des résultats après imbibition par capillarité.

Figure 28 : représentation en pourcentage des résultats après désagrégation mécanique

Tableau 1: Consistance et siccité des boues (Cherifi N, 2013)

Tableau 2: composition des boues selon la filière de traitement des eaux résiduaires urbaines (Rejsek, 2002).

Tableau 3 : les différentes classes de boues.

Tableau 4 : Classification des boues selon leur aspect physique

Tableau 5 : Classification des boues en fonction des traitements

Tableau 6 : seuils de référence pour les teneurs en micro-organismes pathogènes dans les boues hygiénisées (suivant l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif aux épandages de boues sur les sols agricoles français).

Tableau 7 : Composition générale des boues d'épuration (Dudkowski, 2000a).

Tableau 8: teneur limites actuelles en ETM retenues par la commission européenne.

Tableau 9: Teneurs limites en ETM actuelles et à long terme retenues par la commission européenne et les flux maximums cumulés apportés par les boues en 10 ans (Gaultier Jean-Pierre et al).

Tableau 10 : Les paramètres de la 1^{ère} parcelle.

Tableau 11 : Les paramètres de la 2^{ème} parcelle

Tableau 12 : Les paramètres de la 3^{ème} parcelle.

Tableau 13 : Les paramètres de la 4^{ème} parcelle.

Tableau 14: Les paramètres de la 5^{ème} parcelle.

Tableau 15 : Les paramètres de la 6^{ème} parcelle.

Tableau 16: Caractéristiques physiques et chimiques des boues résiduaires de la STEP Est

Tableau 17: Boues sèches (STEP Est).

Tableau 18 :Résultats du test de Student pour le paramètre densité apparente.

Tableau 19 :Résultats du test de Student pour le paramètre porosité totale.

Tableau 20 : Résultats du test de désagrégation totale par éclatement à l'eau en %

Tableau 20 : Résultats du test de microfissuration en %

Tableau 21 : Résultats du test désagrégation mécanique en %

Tableau 22 : Classe de stabilité, balance et érosion hydrique en fonction de valeurs de diamètre moyen pondéral après désagrégation (MWD).

Liste des Abréviations

CEN : Le Comité Européen de Normalisation.

DBO₅: Demande biochimique en oxygène.

DCO: Demande chimique en oxygène.

EPA : Agence fédérale pour la Protection de l'Environnement.

ETM: Élément de trace métallique.

IB: Indic de boue.

MM: Matière minérale.

MS : Matière Sèche.

MV: Matière volatile.

NPP : Nombre le Plus Probable.

NPPUC : Nombre le Plus Probable d'Unités Cytopathiques

OMS: Organisation Mondiale de la Santé.

ONA: Office nationale d'assainissement.

PCI: Le pouvoir calorifique inférieur.

PCS: Le pouvoir calorifique supérieur.

STEP: Station d'épuration des eaux polluée.

MWD : Diamètre moyen pondérale.

Introduction générale

Introduction générale

L'activité humaine génère une production de déchets divers et variés de plus en plus important. Afin de limiter l'impact sur l'environnement, il est indispensable de développer des voies d'élimination de ces déchets et, si possible, d'en recycler ou de valoriser une partie. Pour cela, les états se sont dotés de lois contraignant les différents acteurs (collectivités locales, industriels, consommateurs,...) à mieux respecter leur environnement et inscrire le développement dans la durabilité.

L'épuration des eaux usées est une opération souhaitée et encouragée par l'ensemble de la société, dans un souci d'un environnement propre. Cependant, cette opération engendre une quantité de boue résiduaire d'autant importante que le raccordement des agglomérations aux réseaux d'assainissement augmente. En fonction de sa nature, la matière organique et la matière minérale réfractaire sont accumulées tandis que la matière organique biodégradable sert de substrat aux micro-organismes épurateurs (**Grulois et al. 1996**).

La valorisation agricole (épandage, production d'engrais et de compost) par contre, permet d'utiliser les boues comme amendement organique en minimisant les risques de pollution (**Prevot, 2000 ; ADEME, 2001 ; Aubain et al., 2002**). L'intégration dans le sol des boues souscrit un rapprochement de leurs éléments dans les cycle naturels des élément minéraux et organiques (**De Bertoldi et al., 1983**) et apporte au sol une amélioration des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques (**Abiven, 2004**).

Les filières essentielles d'élimination des boues sont en nombre de trois : l'incinération, la mise en décharge et la valorisation agricole. La mise en décharge souvent pratiquée s'avère une technique peu valorisante et à limites inquiétantes. L'incinération des boues a un cout prohibitif et présente un risque lié à l'impact de gaz toxique sur l'environnement tel que celui de la dioxine (**ADEME, 1999**).

Cette dernière voie d'élimination répond aussi aux enjeux agronomiques, économiques et environnementaux, qui généralement, sont le plus avantageux qu'une mise en décharge ou l'incinération. Les études réalisées par de nombreux chercheurs ont montré que l'épandage des boues résiduaire d'origine urbaine en agriculture est la voie privilégiée de l'élimination de ces résidus. Par ailleurs, les contraintes liées à l'utilisation des boues en agriculture est la présence dans ces dernières de micro-organismes pathogènes susceptible de provoquer des maladies chez l'homme et des éléments métalliques qui peuvent conduire a long terme a une pollution des terres si les apports ne sont pas raisonnés.

Les boues d'origine urbaine peuvent être une source d'amendement pour des terres agricoles qui dans les conditions du climat algérien, de part l'évolution rapide des matières organique peuvent restituer une partie des éléments tout en améliorant certains propriétés édaphique.

L'épandage des boues résiduaire issues des stations d'épuration est une pratique constatée dans la wilaya de Tizi-Ouzou, mais limitée aux terres agricoles à spéculation arboricole selon les instructions de l'ONA régional. De l'avis des agriculteurs les effets sur le rendement sont positifs.

Introduction générale

C'est dans ce cadre que nous nous sommes proposé d'effectuer différents types d'analyses physiques, en vue de répondre au mieux à l'étude de valorisation agricole des boues issues de la station d'épuration Est de Tizi-Ouzou.

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet de l'apport des boues urbaines sur la porosité totale et la stabilité structurale des sols arboricoles amendées avec les boues de la station d'épuration Est de Tizi-Ouzou.

Le manuscrit élaboré à cet effet est subdivisé comme suit :

Chapitre I : Une synthèse bibliographique qui aborde les boues résiduaires et leur utilisation agricole

Chapitre II : Présente le matériel et différentes méthodes utilisées durant toutes les phases (terrain, laboratoire et traitements statistiques)

Chapitre III : Regroupe tous les résultats obtenus et leur discussion.

En fin, une conclusion générale couronne ces chapitres, elle fait état de l'ensemble des enseignements tirés de cette étude et préconise les recommandations jugées nécessaires pour améliorer l'approche méthodologique et la prise en charge de la caractérisation des sols et de la problématique de la valorisation agricoles durable des boues résiduaires.

Synthèse bibliographie

1. Définition d'une boue

Le Comité Européen de Normalisation (CEN) définit les boues comme un mélange d'eau et de matières solides, séparé par des procédés naturels ou artificiels des divers types d'eau qui les contiennent. Les boues d'épuration urbaines résultent des traitements des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité des particuliers, éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir suivi un prétraitement obligatoire.

2. Origine et formation des boues

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

Les boues issues d'une épuration physico-chimique sont dites boues de coagulation, Les boues résiduaires peuvent être considérées comme des substances extraites à partir des eaux usées afin de pouvoir récupérer dans le milieu naturel une eau épurée **(Anred, 1988)**, ce sont des boues riches en résidus formés de réactifs chimiques **(Sbih, 1990)**.

3. Procédés de traitement des eaux usées

3.1. Les prétraitements

Les eaux brutes subissent avant leur traitement proprement dit, un prétraitement qui comporte un certain nombre d'opérations, uniquement physiques ou mécaniques. Il est destiné à extraire de l'eau brute, la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueront une gêne pour les traitements ultérieurs. Il s'agit principalement des déchets volumineux (dégrillage) des sables et graviers (dessablage) et des graisses et huiles (dégraissage-déshuilage) **(Degremont, 1978)**.

3.1.1. Le dégrillage

Le dégrillage a pour but de séparer et d'évacuer facilement les matières volumineuses Charriées par l'eau brute, qui pourraient nuire à l'efficacité des traitements **(Brame, 1986)**.

3.1.2. 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, à éviter de perturber les stades des traitements suivants (**Morel, 1977**).

3.1.3 Dégraissage - Déshuilage

Les opérations de dégraissage et de déshuilage consistent en une séparation de produits de densité légèrement inférieure à l'eau, par effet de flottation, naturelle ou assistée dans une enceinte liquide de volume suffisant.

Le dégraissage est une opération de séparation liquide-solide réalisant un compromis entre une rétention maximale des graisses et un dépôt minimal de boues de fond fermentescibles.

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide. est habituellement réservé à l'élimination d'huiles présentes en quantité notable dans les eaux. (**Duchene, 1990**).

3.2. Le traitement primaire

Le traitement primaire fait appel à des procédés physiques, avec filtration et décantation plus ou moins aboutie, éventuellement assorti de procédés physico-chimiques, tels que la coagulation – floculation.

3.2.1. Coagulation – floculation

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, puisque leur concentration est très stable, ces dernières n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres. Pour les éliminer, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation.

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion rapide de produits chimiques tels que les sels minéraux cationiques.

La floculation a pour objectif de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on peut facilement éliminer par les procédés de décantation et de filtration (**Des jardins, 1990 cité par Tarmoul, 2007**).

3.2.2. Décantation

La décantation est un procédé qu'on utilise dans, pratiquement, toutes les stations d'épuration et de traitement des eaux (**Des jardins, 1990 cité par Tarmoul, 2007**). Son objectif est d'éliminer les particules dont la densité est supérieure à celle de l'eau par gravité. La vitesse de décantation est en fonction de la vitesse de chute des particules, qui elle-même

est en fonction de divers autres paramètres parmi lesquels: grosseur et densité des particules (**vilaginés, 2003**).

Les matières solides se déposent au fond d'un ouvrage appelé « décanteur » pour former les boues primaires. Ces dernières sont récupérées au moyen de systèmes de raclage.

L'utilisation d'un décanteur lamellaire permet d'accroître le rendement de la décantation. Ce type d'ouvrage comporte des lamelles parallèles inclinées, ce qui multiplie la surface de décantation et accélère donc le processus de dépôt des particules. La décantation est encore plus performante lorsqu'elle s'accompagne d'une floculation préalable (**Degremont, 1978**).

3.2.3. Filtration

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide, qui contient des matières solides en suspension, ainsi retenus par le milieu poreux, s'y accumulent ; il faut donc nettoyer ce milieu de façon continue ou de façon intermittente.

La filtration, habituellement précédé des traitements de coagulation- floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et, indirectement, de certain goûts et odeurs (**Des jardins 1990, cité par Tarmoul, 2007**).

3.3. Le traitement secondaire

Dans la grande majorité des cas, l'élimination des pollutions carbonées et azotées s'appuie sur des procédés de nature biologique, basés sur la croissance de micro-organismes aux dépens des matières organiques « biodégradables » qui constituent pour eux des aliments.

Les micro-organismes les plus actifs sont les bactéries qui conditionnent en fonction de leur modalité propre de développement, deux types de traitements (**Vilaginés, 2003**).

3.3.1. Les traitements anaérobies

Les traitements anaérobies font appel à des bactéries n'utilisant pas de l'oxygène, en particulier, aux bactéries méthanogènes qui conduisent, comme leur nom l'indique, à la formation du méthane à partir de la matière organique, et à un degré moindre de CO₂. Ce type de fermentation est appelée digestion en hydrologie. C'est une opération délicate, qui demande une surveillance importante. En effet, la température doit être maintenue à un niveau très stable et suffisamment élevé. Il faut aussi éviter les écarts brutaux de pH et les substances inhibitrices du développement bactérien, à titre d'exemple : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols.

Ce système est davantage utilisé pour le traitement des effluents urbains, que pour le traitement des effluents industriels généralement toxiques pour les bactéries (**Vilaginés, 2003**).

3.3.2. Les traitements aérobies

Les bactéries utilisées exigent un apport permanent d'oxygène, elles peuvent être libres (boue activée, lagunage) ou fixées (lit bactérien). On distingue trois méthodes essentielles :

3.3.2.1. Les lits bactériens

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien, quelques fois appelé filtre bactérien ou filtre percolateur, consiste à faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée, sur une masse de matériau de grande surface spécifique servant de support aux microorganismes épurateurs, qui y forment un feutrage ou un film plus ou moins épais, sous lequel une couche anaérobie peut se développer sous la couche aérobie, si son épaisseur est importante (**Degremont, 1978**).

3.3.2.2. Les boues activées

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu (**OMS, 1979**). Ce dernier est appliqué dans la majorité des stations d'épuration des eaux usées en Algérie.

Le procédé consiste à provoquer le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de flocons (boues activées), dans un bassin brassé et aéré (bassin d'aération) et alimenté en eau à épurer (**Degremont, 1978**).

3.3.2.3. Le lagunage

Lagunage est un système biologique d'épuration, qui consiste à déverser les eaux usées dans plusieurs bassins successifs de faible profondeur, où des phénomènes naturels de dégradation font intervenir la biomasse qui transforme la matière organique. La matière polluante, soustraite aux eaux usées se trouve en grande partie dans la végétation et les sédiments accumulés, et en faible partie dans l'atmosphère sous forme de méthane et d'azote gazeux (**Grosclaude, 1999**).

3.4. Les traitements tertiaires

Les traitements tertiaires regroupent tous les traitements complémentaires visant à affiner la qualité de l'effluent ayant subi les traitements physiques, physico-chimiques et biologiques. Leur utilisation s'impose lorsque la nature des milieux récepteurs recevant l'eau dépolluée l'exige (**Degremont, 1978**) :

Les traitements tertiaires englobent, principalement, l'élimination de l'azote, l'élimination du phosphore et la désinfection, mais aussi le traitement des odeurs.

4. Les différents types de boues

4.1. Les boues résiduaires urbaines

Les eaux usées urbaines sont constituées des eaux usées domestique, des eaux usées provenant d'activités non domestiques éventuellement raccordées et des eaux pluviales si le réseau de collecte est unitaire. En 2001, la production annuelle de boues d'épuration d'origine urbaine représentait environ 1million de tonnes de matières sèches, soit environ 5millions de tonnes brutes (**Ifen, 2001**).

La quantité de boue produite croit régulièrement avec l'augmentation du nombre de stations d'épuration et de la population raccordée, ainsi qu'avec l'amélioration des systèmes d'assainissement et l'évolution des exigences réglementaires en matière d'émissions dans les milieux naturels. Les types de boues d'épuration produites dépendent du type de procédé de traitement des eaux et des équipements de traitements des boues.

4.2. Les boues biologiques ou secondaires

Ce sont les boues issues de clarificateurs ou décanteurs après traitement biologique, que se soit en culture libre (boues actives) ou en culture fixées (lits bactériens ou biologique).Elles sont donc constituées essentiellement de corps bactériens et de leurs sécrétions, elles sont de couleur sombre, très organique (75%), plus homogènes que les boues primaires et ont moins d'odeur que les précédentes (**Duchene,1990 et Debba, 1998**).

5. Caractéristiques des boues

Les caractéristiques des boues dépendent fortement de la charge polluante de l'effluent traité ainsi que des techniques d'épuration mise en place. Une distinction se fait ainsi en fonction du traitement du quel proviennent, d'où trois types de boues sont repérées (**Satin et Selmi, 2006**).

5.1. Caractéristiques physiques

5.1.1. L'indice de MOHLMAN

L'indice de **MOHLMAN** est défini comme étant le volume occupé après décantation de 30 minutes d'un échantillon de boue (**Rodier, 1996**).

5.1.2. L'indice des boues

Ce paramètre sert à relier indirectement la MS et MV et dépend du temps de séjour dans le bassin biologique. Il est important pour l'épaississement, plus IB est faible, plus la boue est facile à épaissir (Rodier et al., 1996).

5.1.3. Teneur en matière minérale

La teneur en matière minérale (MM) est calculée selon la formule suivante à partir des matières volatiles (Coulibaly M.A., 2010).

$$MM(\%) = 100 - MV$$

5.1.4. Matière sèche et siccité

La boue est essentiellement constituée d'eau et de matière sèche (MS), cette dernière est exprimée soit en mg de boues soit en pourcentage, elle est déterminée par la pesée après séchage de la boue à l'étuve à 105°C ou par infrarouge. Une boue qui a 10% de siccité représente 90% d'humidité (Bechac, 1987).

5.1.5. Matière volatile

Elle est mesurée par la différence entre le poids de boue sèche à 105°C et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à 550°C, cette teneur varie de 6 à 85% des matières sèches (Jamonet, 1987).

5.1.6. Pouvoir calorifique

La teneur en matière organique des boues leur confère une aptitude à la combustion, ce qui permet de les incinérer. On peut définir deux pouvoirs calorifiques :

- Le pouvoir calorifique inférieur (PCI)
- Le pouvoir calorifique supérieur (PCS)

Ce pouvoir calorifique s'exprime en kg de boue ou de matière volatile en K.cal/kg de MV (Lassée, 1985).

5.1.7. Consistance de la boue

C'est une donnée obligatoire à connaître pour toute manipulation des boues. La consistance est un état physique dépendant de la siccité. Le tableau ci-dessous illustre la consistance et siccité des boues.

Tableau 1: Consistance et siccité des boues (Cherifi N., 2013)

Etats	Siccité
Boues liquides	Siccité de 0 à 10%
Boues pâteuses	Siccité de 10 à 25%
Boues solides	Siccité de 25 à 85%
Boues sèches	Siccité supérieure à 85%

5.2. Facteurs caractérisant la structure des boues

5.2.1. La viscosité

Les boues urbaines sont considérées comme des véritables systèmes colloïdaux, dont la forte stabilité est déterminée par la nature des propriétés de la surface des colloïdes et par l'interaction entre les particules. Les boues ne sont pas des liquides newtoniens, on mesure leur viscosité en fonction de la contrainte de cisaillement (viscosité de Bingham), cette viscosité permet de définir leurs caractères thixotropiques, qui est important pour leur transports (A.F.E.E, 1974).

5.2.2. Granulométrie

La granulométrie mesure la taille et étudie la répartition statistique, selon la grosseur des éléments d'une substance pulvérisant (Hachette et Livre, 2000). L'analyse granulométrie s'effectue jusqu'à 80 μm par tamisage du matériau par voie sèche ou par voie humide (Ladjel, 2004).

5.2.3. Nature de l'eau contenue dans la boue

L'eau représente 95% de la masse de la boue. Dans une boue urbaine elle est sous deux états :

- libre : assez facilement éliminable par la filtration
- liée ou combinée : comprend l'eau hydratation colloïdale, l'eau capillaire, l'eau cellulaire et enfin l'eau chimique.

Cette eau ne peut être éliminée que par la chaleur, conditionnement thermique, séchage ou incinération (**Coulibaly M. A., 2010**).

5.3. Caractéristiques chimiques des boues

5.3.1. Acidité des boues

Le pH est un paramètre important pour l'utilisation ultérieure des boues en agriculture. Il détermine partiellement la charge électrique des particules solides et, par conséquent, influe sur la stabilité colloïdale. Dans le cas des boues digérées par la voie anaérobie, la fermentation se fait dans un milieu légèrement alcalin le pH doit être proche de la neutralité. Une chute de pH en dessous de 6,5 indique un déséquilibre de la digestion. En cas de la stabilisation aérobie, le pH sera acide (**Ladjel, 2004**).

5.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO)

Demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène en g/l qui est consommée par les matières oxydables, elle représente la quantité d'oxygène nécessaire pour la dégradation par voie chimique des matières organique et des matières minérales oxydables (**OTV, 1997**). La DCO permet d'apprécier la quantité des matières organiques dans les boues, et éventuellement leur fermentation possible. La DCO figure parmi les indicateurs permettant de contrôler le bon fonctionnement d'une Step.

4.3.3. Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La demande biochimique en oxygène indique la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes, pour réduire la fraction biodégradable en 5 jours d'incubation à 20°C (Ladjel, 2004).

5.4. Caractéristique biologique

5.4.1. Composition des matières organiques

La concentration en matière organique peut varier de 30 à 80 %. La matière organique des boues est constituée de matière particulaire éliminée par gravité dans les boues primaire, des lipides (6 à 19% de matière organique), des polysaccharides, des protéines et des acides aminés (jusqu'à 33 % de la matière organique), de la lignine, ainsi que des produits de métabolisation et des corps microbiens résultant des traitements biologiques (kaki *et al*, 1986; Inoue *et al*, 1996; Adem, 2001; Jard *et al*, 2003 in Amir, 2005).

5.4.2. Composition des matières minérales

Les éléments les plus couramment rencontrés sont: Silice, alumines, carbonates et phosphates, à l'exception des boues minérales d'industries spécifiques ont ainsi leur importance pour préciser la qualité agricole d'une boue épandue, la silice est un élément défavorable. Par ailleurs les chlorures, essentiellement solubles, sont peu appréciés en cas d'utilisation des cendres de boues incinérées en valorisation dans le béton (Tauzin, C., Juste C., 1986).

5.4.3. Les Micropolluants organiques

Ils doivent être caractérisés, en cas d'épandage agricole comme en cas d'incinération, car ils peuvent se retrouver dans les fumées. Les législations se sont longtemps tenues aux seuls micropolluants minéraux en limitant les rejets des métaux lourds tels que le plomb, chrome, cuivre, manganèse, nickel, arsenic, cadmium et mercure (Suh Y.J. et Roussaux P., 2002).

5.5. La composition en éléments chimiques des boues.**5.5.1. Le carbone**

Le carbone organique présente la plus grande partie de la matière organique des boues résiduaires, c'est donc un élément important pour une valorisation agricole. La teneur en carbone se situe entre 28 et 34% de MS, ce carbone est issu surtout des corps microbiens et des produits de leurs métabolisme (**Degremont, 1966**).

5.5.2. L'azote

La concentration en azote varie de 1 à 7%, les plus fortes teneurs sont observées dans le cas des boues liquides (7 à 8%), alors que les boues déshydratées ont des teneurs qui varient entre 2 à 6% (**Koller, 2004**).

5.5.3. Le phosphore

Les teneurs en P des boues dépendent des caractéristiques des eaux usées et des traitements mis en œuvre. Les boues primaires sont généralement moins riches en P que les boues biologiques qui contiennent des corps microbiens à teneur élevée en P (**Sommers, 1977; Kirkham, 1982; Jokien, 1990; Sommelier et al, 1996**).

5.5.4. Le potassium

C'est un élément moins important dans la boue, son élimination se fait en même temps que l'eau épurée, cependant, divers auteurs observent que cette quantité minimale est rapidement assimilable (**Benmouffok, 1980**).

5.5.5. Le soufre

Les boues sont caractérisées par leurs richesses en soufre dont les teneurs varient entre 0,8 et 1,5%. Une proportion de 25 à 70% s'y trouve sous forme minérale : sulfure, soufre élémentaire, thiosulfates et poly thionates (**Anonyme, 1988**).

5.5.6. Le calcium, Le magnésium et le sodium

Les boues se caractérisent par une teneur élevée en calcium, il se trouve probablement sous forme relativement mobile puisque plusieurs auteurs signalent un accroissement des teneurs en calcium des horizons du sol. Les teneurs en magnésium varient de 0,3 à 1% et sont indépendantes du type de boue (**Juste et Solda, 1997**). Le niveau du sodium dans les boues d'épuration relativement important; cependant il est rapidement entraîné par le lessivage (**Benmouffok, 1981**), et d'après (**Anonyme, 1988**), les teneurs en Na restent inférieures à 1%.

5.5.7. Les métaux lourds

Les boues d'épuration ont des propriétés agronomiques utiles dans le domaine de l'agriculture. Leur utilisation doit tenir compte des besoins nutritionnels des plantes sans toutefois compromettre la qualité des sols ni celle des eaux superficielles et souterraines.

En effet, certains métaux lourds présents dans les boues d'épuration peuvent être toxiques pour les plantes et pour l'homme. L'utilisation des boues d'épuration est interdite

Lorsque la concentration d'un ou de plusieurs métaux lourds dans les sols dépasse les valeurs limites.

L'utilisation des boues est interdite sur des sols destinés à des cultures maraîchères ou fruitières qui sont normalement en contact direct avec les sols et qui sont normalement consommées à l'état cru, pendant une période de dix mois qui précède la récolte et pendant la récolte elle-même (**Coïc, Y, Coppenet, M, 1989**).

Le tableau ci-dessous illustre la composition des boues selon la filière de traitement des eaux résiduaires urbaines.

Tableau 2: composition des boues selon la filière de traitement des eaux résiduaires urbaines (Rejsek, 2002).

Composants	Décantation primaire	Traitement biologique	Aération prolongée	Lagunage	Traitement Chimique
Matière organique%	55-65	70-85	60-75	45-60	35-55
N total% MS	2,3-3	4-6	4-5	2-3	1,5-2
P%MS	1-,5	2,5-3	2-2,25	1,5-,5	1,5-3
K%MS	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,2-0,3	0,1-0,2
C% MS	33-40	38-50	33-40	25-35	20-30
Ca% MS	5-15	5-15	5-15	5-15	5-30
Mg% MS	0,4-0,8	0,4-0,8	0,4-0,8	0,4-0,8	1,7-4,5
Pouvoir fermentescible	++	++	+	-	(++)(-)
Contamination bactériologique	++	++	+	-	(++)(-)

6. Classification des boues

La classification des boues, est établie en fonction de plusieurs paramètres : nature du traitement, la teneur en eau (siccité). Les tableaux 3,4 et 5 montrent à titre indicatif une classification élaborée selon (OTV, 1997).

Tableau 3 : les différentes classes de boues

Boues de casse A	boues primaires boues primaires physico-chimiques boues de forte et très forte charge
Boues de casse B₁	boues biologique en eau brute boues De faible charge boues d'aération prolongée
Boues de casse B₂	boues Biologiques en eau décantée boues De fables charge
Boues de casse C	boues mixtes de type A+B ₂
Boues de casse D	boues stabilisées biologiquement boues de digestion anaérobie mésophile boues de digestion anaérobie mésophile

Les boues peuvent être classées selon leur aspect physique (Tableau 4)

Tableau 4 : Classification des boues selon leur aspect physique

Appellation	Nature	
Boues liquides Elles présentent une concentration en matière sèche (MS) compris entre 3 et 10%. On peut également exprimer cette concentration en g/l	Boues liquides	Siccité de 3% (épaississeur statique ou hersé)
	Boues liquides égouttées	Siccité de 6% (tables d'égouttages)
Boues pâteuses Leur siccité (% en poids de MS) est comprise entre 10 et 25%	Non chaulées	Siccité de 10 à 18% (épaississement et filtre à bandes)
	chaillées	Siccité de 10 à 18% (épaississement et filtre à bandes, chaulage). Le chaulage permet une stabilisation et un conditionnement des boues indispensables à leur valorisation agricole.
Boues solides Leur siccité dépasse 20% de MS	chaillées	Siccité de 30 à 35 % (épaississement, filtre-presse avec conditionnement à la chaux et au chlorure ferrique)
	Digérées chaillées	Siccité de 25 à 35% (épaississement, digestion, centrifugeuse avec chaulage éventuel)
Boues sèches Siccité de 95% (épaississement, digestion, centrifugeuse et séchage thermique)		

Les boues de STEP peuvent également être différenciées selon le traitement dont elles sont issues (tableau 5).

Tableau 5 : Classification des boues en fonction des traitements

Appellation	Nature
Boues issues du traitement primaire des eaux usées, dites «fraiches »	Elles sont produites par une simple décantation des matières en suspension (MES) contenues dans les eaux usées. 70% de MES peuvent ainsi être retenues. Avec l'évolution de la conception des stations, ce type de boues est en train de diminuer.
Boues issues du traitement physico-chimique des eaux usées	Elles sont formées par l'agglomération des matières organiques particulières ou colloïdales contenues dans les eaux usées. Cette agglomération est obtenue grâce à l'addition d'aluminium. 90% de MES peuvent ainsi être captées. Séparées par décantation, les boues obtenues renferment une part importante de sels minéraux issus des eaux brutes et de l'agent coagulant.
Boues issues du traitement biologique des eaux usées	Elles sont constituées par les résidus de bactéries «cultivées dans les ouvrages d'épuration. Ces bactéries ont pour rôle d'éliminer une partie de la matière organique contenue dans les eaux usées en les digérant. Pour maintenir, l'activité biologique de la station à un bon niveau, une partie de la masse des bactéries ou « biomasse en excès » doit être soutirée régulièrement, entretenant ainsi la dynamique de reproduction bactérienne.
Boues mixtes	Mélange de boues primaires et biologiques.

7. Traitement des boues

Le traitement des boues est défini comme l'ensemble des opérations visant à modifier les caractéristiques des boues en excès afin de rendre leurs destinations finales fiables et sans nuisance. Les boues subissent le traitement de déshydratation et de stabilisation avant être rejetées dans le milieu naturel ou réutilisées à des fins agricoles ou énergétiques (**Blondeau, 1985**).

Après la récupération de la boue, cette dernière se présente sous forme liquide avec une forte charge en matière organique hautement fermentescible. Vu ses nuisances et ses impacts, un traitement préalable jugé obligatoire quel que soit sa destination. On distingue trois étapes de traitement :

7.1. Stabilisation

7.1.1. Stabilisation biologique

Elle réduit la teneur des boues en matières fermentescibles. La stabilisation biologique se fait soit par voie aérobie dans les bassins d'aération, jusqu'à l'obtention des boues à teneur non négligeable en oxygène et biologiquement stable. La consommation d'énergie de ce

procédé ne permet pas d'envisager son utilisation de manière systématique pour les boues d'origine urbaines (**Alexandre, 1979**). Soit par voie anaérobie dans des digesteurs avec production d'un biogaz riche en méthane et on obtient des boues digérées, encore appelées stabilisées anaérobies. Pour maintenir l'activité biologique de la station à un bon niveau, une partie de la masse des bactéries ou biomasse en excès doit être prélevée, soutirée régulièrement, entraînant ainsi la dynamique de reproduction bactérienne (**CNB, 2001**).

7.1.2. Le compostage

Le compostage constitue un procédé particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées d'une façon à économiser l'approvisionnement en support de compostage. Les boues compostées ont un aspect de terreau et présentent une structure solide; elles sont stables. On constate actuellement, un fort regain d'intérêt pour cette technique en raison des nouvelles données réglementaires et économiques concernant la gestion des déchets. Le compostage se pratique dans des stations de moyenne taille et ne représente que 2% des tonnages des boues (**O.P.E.C.S.T; 2001**).

7.1.3. La stabilisation chimique

Elle bloque l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50% de la matière sèche, en général 30%) élevant le pH au-delà de 12 (**Koller, 2004**). Ce traitement apporte un appoint en calcium qui peut être bénéfique, si la boue sera valorisée (**Gamrasni, in Nakib, 1986**).

8. Réduction de la teneur en eau de boue

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité et de coût, l'épaississement, la déshydratation et séchage. En amont de ces procédés des traitements dits de conditionnement sont souvent utilisés pour favoriser la séparation liquide-solide. Ils utilisent des flocculant organiques de synthèse (appelés polyélectrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium).

Le conditionnement peut aussi se faire par voie thermique (autoclavage) et consiste en une cuisson des boues à 180-220°C pendant une demi-heure à deux heures pour casser les liaisons colloïdales propres à la rétention d'eau. Ce procédé en raison des difficultés d'emploi et d'un coût prohibitif n'est pas très utilisé.

8.1. L'épaississement

Visé à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Cet épaississement peut se faire simplement par voie gravitaire dans un concentrateur ou par des moyens mécaniques (égouttage, flottation ou centrifugation). (OTV, 1997)

8.2. La déshydratation

Correspond à une augmentation forte de siccité, qui modifie l'état physique des boues, celle-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. Un conditionnement est souvent utilisé en amont pour favoriser la séparation liquide-solide à l'aide de flocculant organique de synthèse ou minéraux, et une autoclavage. Selon la puissance du procédé de séchage utilisé, épaississement, déshydratation ou séchage thermique, on obtient des boues à différentes siccités.

8.3. Le séchage

Élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, soit par voie naturelle (lits de séchage), soit par voie thermique.

8.3.1. Lit de séchage

La technique des lits de séchage se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combiné à une évaporation naturelle et le drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sable et de graviers. L'emprise au sol est de 1 m² pour 4 à 5 habitants raccordés. Ce système extensif donne des boues solides à 35 – 40 % de siccité mais reste fort dépendant des conditions météorologiques.

8.3.2. Le séchage thermique

Des boues revêt un effet temporaire de stabilisation (par absence d'eau), persistant aussi longtemps que les boues ne sont pas ré-humectées. Pour des raisons de cout, le séchage se pratique sur des boues déjà déshydratées mécaniquement.

Le séchage thermique permet une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95%).

Les boues obtenues sot pulvérulentes ou en granulés.

En raison des couts énergétiques, ce procédé reste peu utilisé, malgré son intérêt manifeste sur la réduction des volumes à manipuler.

8.4. Les traitements d'hygiénisation :

Une boue est considérée comme hygiénisée quand, à a suit d'un traitement, elle satisfait aux exigences définies dans le tableau 6, qui résume les teneurs souhaitées en microorganismes.

Tableau 6 : seuils de référence pour les teneurs en micro-organismes pathogènes dans les boues hygiénisées (suivant l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif aux épandages de boues sur les sols agricoles français).

Salmonelle	Entérovirus	Œufs d'helminthes pathogènes viables
<8NPP/10g MS	<3 NPPUC/10g MS	<3/10 g MS

9. Devenir et valorisation des boues

9.1. La mise en décharge

La mise en décharge consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec les ordures ménagères) en tenant en compte de certaines conditions : compactage des résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharge (lixiviats), équipement et gestion du site (**El-fadelet Khoury, 200 ; Allen, 2001**). Les boues doivent être probablement stabilisées et déshydratées (humidité maximale de 70% soit une teneur minimale de 30% de MS pour être stockées en décharge).

9.2. L'incinération

Réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+ de 500°C) produisant des fumées et de matière minérales résiduelles nommées cendre. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel (**Prévôt, 2000**).

Les résidus de l'incinération sont utilisables pour les travaux publics (**Werther et Ogada, 1999**).

Cependant, malgré l'intérêt de ce procédé pour une réduction importante des volumes de déchets, il présente des contraintes principalement liées à un investissement très coûteux.

Les boues seules ne sont pas auto combustibles, elles nécessitent des fours spéciaux et un mélange avec d'autres déchets tels les déchets ménagers.

Ce traitement peut se faire avec ou sans valorisation énergétique mais son bilan écologique n'est pas intéressant, car il est à l'origine de pollution atmosphérique (**Ademe, 1999**).

9.3. Valorisation agricole des boues

L'utilisation agricole est la solution la plus satisfaisante sur le plan de l'environnement, et la plus économique. Cependant pour une utilisation optimale ou pérenne, le produit doit être attrayant, le plus homogène possible.

Cette pratique, en usage de plus de 30 ans, constitue une solution particulièrement favorable à l'environnement car elle offre l'opportunité de recycler la matière organique nécessaire au sol. De plus, les boues présentent un fertilisant peu onéreux, qui permet à l'agriculteur de réduire ses charges en engrais fertilisants classiques. Quelle que soit sa forme (épandage de boue liquide, pâteuse, solide, ou sèche), la valorisation agricole doit être précédée d'une enquête préalable, et entourée de toutes les précautions scientifiques, techniques et réglementaires (**Collection OTV, 1997**).

9.3.1. La valeur fertilisante et amendante

Les boues des stations d'épurations sont constituées de particules minérales (argiles, carbonates, silicates, phosphates...), des débris organiques grossiers (fibres textiles, résidus végétaux matières plastiques), de biomasse morte (résidus de cellules bactériennes, résidus d'algues), de polymères organiques issues de l'activité de la biomasse (polysaccharides, protéines) et de constituants minéraux et organiques solubles. La disponibilité du phosphore, de l'azote et du taux de matière organique des boues est conditionnée par le procédé de traitement utilisé dans la station. Par leur composition, les boues une fois épandues augmentent le rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour cultures et servent d'amendements organiques et calciques améliorant les propriétés physiques chimiques et biologiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées (**Benmoufok, 1994 ; Abiven, 2004**).

Le tableau 8 tiré du courrier de l'environnement de l'INRA (**Dudkowski, 2000a**) indique à titre d'exemple le pourcentage des éléments fertilisants ainsi que le pourcentage de la matière organique contenu dans les boues.

Tableau 7 : Composition générale des boues d'épuration (Dudkowski, 2000a)

Matière sèche (MS)	2 à 95% selon la siccité
Matière organique	50à70% de la MS (30% si boues chaulées)
Azote	3à9% de la MS
Phosphore	4à6% de la MS
Potasse	< à 1% de la MS
Magnésie	< à 1% de la MS
Chaux	4à8% de la MS (25% si boues chaulées)
Carbonne/azote	5à12

10. Effet des boues résiduaires sur les propriétés physiques et chimiques du sol

En modifiant la structure du sol, la boue résiduaire influe positivement sur la qualité physique du sol particulièrement, la conductivité hydraulique et de la porosité totale (**Dridi et Toumi, 1999**), la stabilité structurale et la densité apparente (**Garcia-Orenes et al, 2005 ; Surajit et al, 2015**) et la circulation de l'air et de l'eau, la pénétration des racines dans le sol et l'accessibilité des nutriments aux végétaux (**Dexter A R, 1997**).

10.1. La stabilité structurale

La stabilité des agrégats est corrélée à la quantité de carbone organique présent dans le sol (**Stengel et al, 1984**). Comme cette quantité augmente sensiblement avec les boues, les agrégats sont plus stables dans cette situation culturale (**Angers et al, 1998**).

L'apport de boues résiduaires améliore la stabilité structurale du sol (**Garcia et al., 2005 ; Metzger et al., 1985**).

10.2. Réserve en eau

La richesse des boues en matière organique améliore le bilan hydrique du sol par accroissement de la réserve en eau utile, mais une telle action nécessite un apport important de carbone (**Morel et Jacquin, 1978**), ainsi, selon les mêmes auteurs l'incorporation de boues dans un sol limoneux présente un gain d'eau de 5%.

L'épandage des boues résiduaires aurait aussi pour effet d'agir sur l'économie de l'eau du sol, selon certains auteurs, seuls des épandages à fortes doses (supérieures 100TMS/ha) sont susceptibles d'agir favorablement sur la réserve en eau utile (**Morel, et Guckert, 1981**).

10.3. La perméabilité

L'épandage des boues dans le sol augmente la perméabilité du sol ou la vitesse d'infiltration de l'eau, qui représente une conséquence de la structure (**Morel et Jaquin, 1980 ; Pommel, 1979 ; Kockmann, 1996**). Cette augmentation semble résulter de l'augmentation de la teneur en matière organique particulièrement suite aux amendements (organiques, fumier, lisier, compost, boues).

10.4. La densité apparente

Des études réalisées dans des conditions pédoclimatiques variées, concluent que la densité apparente des sols non amendés est élevée dans les cinq à dix premiers centimètres de sol (**Ehlers et al, 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant & Lafond, 1993 ; Rhoton et al, 1993 ; Unger & Jones, 1998 ; Lampurlanés & Cantero- Martínez, 2003 ; Basic et al., 2004**). Généralement, une conséquence de la compaction du sol non amendé est la pénétration plus difficile des racines dans le sol (**Ehlers et al, 1983 ; Hammel, 1989 ; Hill, 1990 ; Grant & Lafond, 1993 ; Ferreras et al, 2000**). (**Tebrügge et Düring 1999**), montrent que l'écart de densité apparente entre un sol amendé et un sol non amendé en boues est maximal; l'écart décroît au cours de la saison de culture. (**Garcia-Orenes et al., 2005 ; Surajit et al., 2015**), ont aussi montré qu'à partir de 21% de boues, la densité apparente dans les couches superficielles (30cm) augmente d'une façon significative.

Tebrügge et Düring (1999) montrent que l'écart de densité apparente entre un sol amendé et un sol non amendé en boues est maximal; l'écart décroît au cours de la saison de culture.

10.5. La porosité totale

La porosité est un paramètre décrivant le sol, elle comprend deux facteurs : la densité apparente et la densité réelle ; la densité apparente indique l'état ou la condition de sol, diminue avec

la teneur du sol humus (DUTHIL, 1971) ; la densité réelle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol.

Selon (Denis Baize, 2000), une faible porosité signifie une forte densité apparente, sera un indice de tassement artificiel, un horizon à faible porosité et surtout à faible macro porosité, constitue un obstacle à la percolation de l'eau dans le sol et un plancher responsable d'un engorgement. Une bonne perméabilité et une bonne porosité assurent une bonne circulation de l'air et de l'eau (échanges gazeux) donc une bonne alimentation de la plante (Soltner, 2000). L'apport des boues aux sols entraînent une augmentation de la porosité totale du sol, beaucoup de travaux ont montré cet effet (Dridi et Toumi, 1999, Surajit Mondal^a et al, 2015).

11. Effet sur la croissance et le rendement

Plusieurs chercheurs expérimentateurs notamment (Hinsley, Jones, Zeigler 1973), des différences de rendement en tonnes de racines par hectare et en tonne de sucre par hectare, pour la betterave en faveur des parcelles enrichies de boues. Un effet net au niveau de la croissance et du rendement est obtenu dans le cas du blé a été également noté. Cependant, l'effet résiduel des boues tend à s'estomper et conduit à une grande variabilité des résultats de croissance et de rendement particulièrement pour l'orge

En outre, des expérimentations réalisées pour l'étude de l'intérêt agronomique des boues sur le champ pour une culture de blé, montrent que l'apport de boue entraîne une augmentation de rendement des grains, 94 q MS/ha pour une dose de 20t/ha contre 93q MS/ha pour le témoin (Syprea, 2000).

12. Impacts environnementaux et sanitaires des boues

Le fait d'apporter des boues dont la qualité chimique et organique est différente de celle du milieu récepteur va entraîner des modifications de ce milieu (Jocteur Monrozier, 2001).

L'épandage de boues de station d'épuration peut, en effet, modifier les propriétés du sol. Ces modifications peuvent être d'ordre édaphique par l'apport de matière organique, modification de la structure, microclimatique; augmentation de la température au cours de la fermentation, floristique; installation d'une végétation rudérale (Lindsay et Logan, 1998).

Par leurs compositions, ces boues peuvent avoir des effets bénéfiques sur les propriétés chimiques et physiques du sol. Les modifications de la physique du sol vont

essentiellement dépendre de son mode d'introduction et des propriétés du sol récepteur. Si les boues sont introduites par aspersion, les boues restent à la surface du sol et les propriétés du sol s'en trouvent peu modifiées. Cependant, si le sol a des propriétés de transfert relativement importantes, les migrations de l'eau et d'un certain nombre de solutés pourront être plus profondes. Si le sol est peu perméable ou se trouve dans des conditions de stress hydrique au moment où il pleut, le ruissellement l'emporte de loin sur la pénétration dans le sol (DUDKOWSKI, 2000).

13. Législation de l'épandage des boues

13.1. Dans les pays de l'union européenne

L'épandage est la solution privilégiée dans la logique de la politique européenne de gestion des déchets donnant la priorité au recyclage des matières. La directive n°86/278/CEE du 12 juin 1986 définit les pratiques d'utilisation agricole des boues d'épuration municipale depuis 1998, la commission envisage de réviser cette directive en proposant des valeurs limites en ETM dans les boues (tableau 8).

Tableau 8 : teneur limites actuelles en ETM retenues par la commission européenne

ETM	Directive actuelle		Long terme (vers 2025)	
	Valeur limite dans les boues (g/t)	Flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans (g/ha)	valeur limite dans les boues (g/t)	flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans (g/ha)
Cd	20-40	150	2	6
Cr	-	-	600	1800
Cu	1000-1750	12000	600	1800
Hg	16-25	100	2	6
Mi	300-400	3000	100	300
Pb	750-1200	15000	200	600
Zn	2500-4000	30000	1500	4500

13.2. Aux Etats-Unis

L'EPA (Agence fédérale pour la Protection de l'Environnement) a mandaté 15 experts indépendants pour étudier l'influence des boues de stations d'épurations appliquées en agriculture. Ils en ont finalement conclu que « l'utilisation raisonnée des boues d'épuration posait des risques négligeables pour les cultures, les consommateurs et l'environnement ».

13.3. En Algérie

L'épandage en Algérie se fait après être prémuni de certains risques liés à l'aspect bactériologique et métaux lourds. En outre, l'agriculteur se limite uniquement à l'épandage des boues dans les cultures céréalières, arboricultures et plantes ornementales (pépinières) cas des Step de: Hadjout, Boumerdès, Kolea, Ain defla et Chelif. La valorisation agricole des boues reste au stade expérimental avec des tentatives limitées dans le cas de certaines STEP. En l'absence d'un cadre réglementaire. La démarche de management de l'environnement dans laquelle s'est engagé l'ONA à permet d'identifier les aspects environnementaux et par conséquent d'établir un plan d'action pour réduire les impacts (**Berchiche C. ; Ladjimi S, 2010**).

La production de boue reste un aspect environnemental significatif dont il va falloir réduire l'impact.

Les lois et décrets qui régissent la réglementation en matière de valorisation agricole des boues en Algérie sont comme suit :

- **Loi n°2001-19 du 12 Décembre 2001** : relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets qui oblige à trouver une solution au devenir des boues de STEP.
- **Décret Exécutif n°2006-104 de 28 Février 2006** : fixant la nomenclature des déchets qui classifie les boues de STEP comme des déchets spéciaux voir même dangereux en cas de présence d'eaux d'origine industrielle. (**Berchiche C. ; Ladjimi S, 2010**).

Tableau 9 : Teneurs limites en ETM actuelles et à long terme retenues par la commission européenne et les flux maximums cumulés apportés par les boues en 10 ans (Gaultier Jean-Pierre et al).

ETM (ppm)	Directive actuelle		Long terme (vers 2025)	
	Valeur limite dans les boues (g/t)	flux maximums cumulés, apporté par les boues 10 ans (g/ha)	Valeur limite dans les boues (g/t)	Flux maximum cumulés, apporté par les boues en 10 ans (g/ha)
Cd	20-40	150	2	6
Cr	-	-	600	1800
Cu	1000-1750	12000	600	1800
Hg	16-25	100	2	6
Ni	300-400	3000	100	300
Pb	750-1200	15000	200	600
Zn	2500-4000	30000	1500	4500

Matériel et méthode

1. Objectif de l'étude

L'objectif de notre travail est de contribuer à la caractérisation physico-chimique des boues résiduairees de la station d'épuration des eaux usées Est de Tizi-ouzou, et l'étude de l'effet de son apport sur quelques propriétés physiques des sols.

Pour répondre à cet objectif, nous avons d'abord effectué un stage au niveau de la STEP Est de Tizi-Ouzou, où nous avons suivi le procédé de traitement des eaux usées et effectué quelques analyses sur la boue produite dans cette dernière. Aussi, nous avons pris contact avec les responsables de l'ONA, pour nous orienter vers les agriculteurs des domaines qui ont épandus les boues sur leurs terrains agricoles qui a fait l'objet de notre champ expérimental.

2. Localisation de la station

La STEP Est de Tizi-Ouzou (Figure 1), est localisée à 3 km à l'Est de la ville de Tizi-Ouzou, réalisée par l'entreprise « hydro aménagement FOREMHYD », mise en service en juillet 2000, la zone Est et Sud de la ville de Tizi-Ouzou y sont raccordées. Elle utilise le procédé d'épuration à boues activées (moyenne charge) qui traite une eau usée domestique, sa capacité est de 120 000(eq / hab), le débit est de 18 000(m³ / j), les eaux usées épurées sont rejetées au niveau du Oued de Sebou (ONA, 2011). Ces boues résiduairees qui proviennent de cette station sont caractérisées chaque année par l'ONA, 2014 et aussi par Cherfouh et al., 2012et en 2016 par Oualikh.,(en cours de réalisation) (tableau16,17 en annexe).

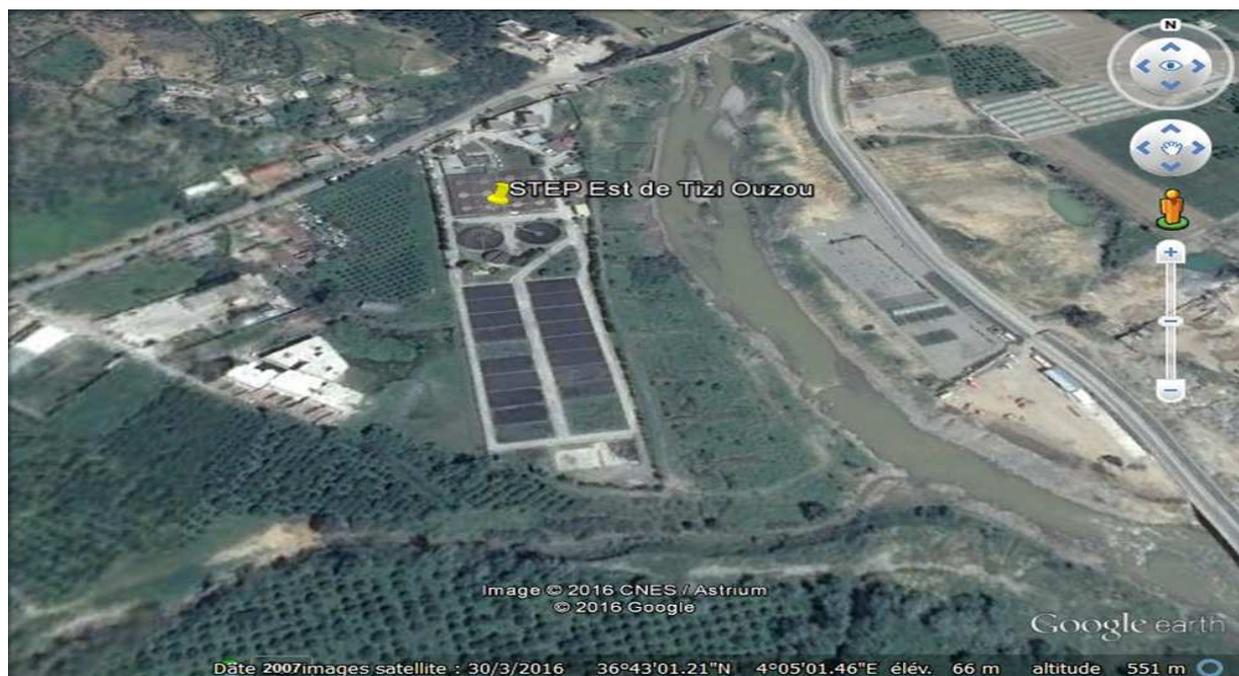


Figure 1 : Localisation de la station d'épuration via Google Earth 2016

3. Travaux effectués au niveau de la STEP

Nous avons contribué à l'analyse et à la caractérisation des boues qui sont destinées à l'épandage sur sols agricoles étudiés.

3.1. Analyses des boues

La caractérisation des boues est effectuée en grande partie par l'équipe de l'ONA au niveau des laboratoires de la station d'épuration sis à Baraki, que trois paramètres sont effectués par nous, aux niveaux des laboratoires de L'ONA régional de Tizi-Ouzou à savoir : le test de décantation, les matières volatiles sèches et les matières sèches.

3.1.1. La matière sèche (MS) : La concentration en matière sèche permet de connaître la quantité de boue, quel que soit son niveau de concentration dans sa filière de traitement, on l'obtient par déshydratation. Le protocole consiste à :

- Prélever des échantillons ; verser un volume V dans un bécher
- Peser un micro-filtre (p0), effectuer une filtration sur bécher, mettre le micro-filtre dans une coupelle et sécher à l'étuve à 105°C.
- Mettre à refroidir dans le dessiccateur puis peser le micro-filtre(P1).

Par la suite, calculer selon la formule suivante :

$$MS = (P_1 - P_0) \times 1000 / V \text{ (g/l)}$$



Figure 2 : Photo illustrant la détermination de la matière sèche

3.1.2. Test de décantation V₃₀ : Le calcul de l'indice de boue nous permet d'apprécier l'aptitude de la boue à la décantation et prévenir d'éventuelles pertes de boues liées au dépassement de la capacité du clarificateur. Le protocole utilisé est le suivant :

- Prélever des échantillons après 15 minutes (au moins) du fonctionnement de l'aérateur.
- Remplir deux cônes IMHOFF de 1000ml posés sur un support stable après avoir mélangé le contenu des bouteilles en les agitant.
- Noter après 30 minutes de décantation le niveau de la boue, c'est le V₃₀
- Faire une dilution (si nécessaire).

L'indice de boue est calculé comme suite :

$$IB = V_{30}/MS \times \text{facteur de dilution}$$



Figure 3: Photo illustrant le test de décantation V₃₀

3.1.3. Matière volatile sèche (MVS) : Le contrôle de ce paramètre permet de connaître la stabilité de la boue et son aptitude à divers traitements (déshydratation, incinération), suivant le protocole :

- Prélever des échantillons au niveau de lit de séchage
- peser les coupelles à vide (P₀), puis mettre à l'étuve à T°= 105° C pour un premier séchage
- laisser refroidir les coupelles, et peser(P₂)
- Mettre dans un four de 550°C (une calcination)
- Laisser refroidir un bon moment

-peser les coupelles une dernière fois(P3).

La concentration des MVS est calculée selon la formule suivante :

$$\text{MVS} = ((P_2 - P_3) / (P_2 - P_0)) \times 100$$



Figure 4: Photo illustrant la détermination des matières volatiles sèches

4. Etude des sols épandus avec la boue

4.1. Le choix des parcelles

A fin de réaliser l'objectif de notre étude, notre choix est basé sur la proximité, parcelles se localisent au niveau de la commune de Tizi- Ouzou et aussi amendées et non amendées avec la boue de la STEP Est pour pouvoir comparer. Le nombre est limité à six parcelles, quatre amendées et deux non amendés.

4.2. Localisation des parcelles

La localisation des parcelles d'étude est illustrée par la figure 5 et aussi par les coordonnées Lambert présentées sur les images satellitaires et dans les tableaux des paramètres.

4.3. Echantillonnage

L'échantillonnage du sol a été effectué du mois de mars au mois d'avril 2016 sur six parcelles dans la commune de Tizi-Ouzou, on a observé et échantillonné sur le terrain avec la collaboration des agriculteurs.

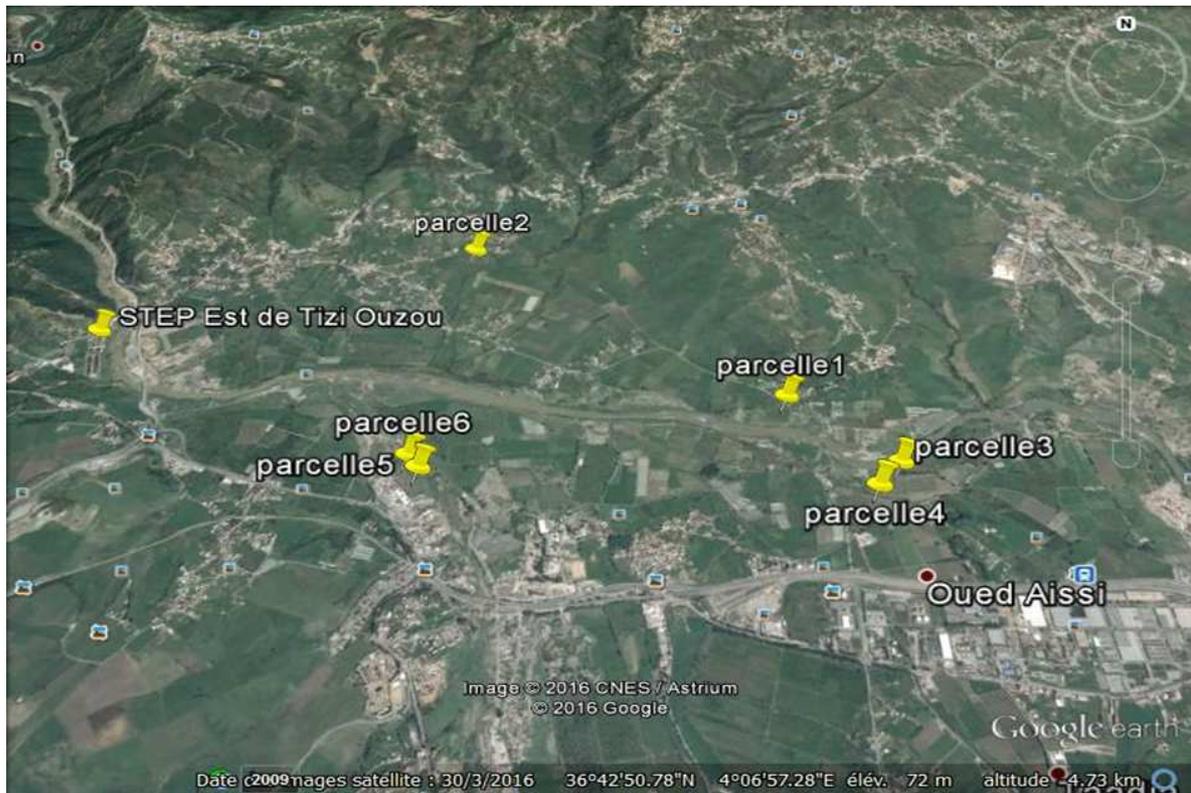


Figure 5 : Localisation des différentes parcelles via Google Earth 2016

La répartition des unités d'échantillonnage dans notre zone de prélèvement a été faite en diagonale de façon à respecter l'homogénéité, la pente, l'exposition. L'échantillonnage du sol est limité uniquement aux horizons de surface sur une profondeur de 0 à 20 cm.



Figure 6: Photo illustrant le prélèvement des échantillons

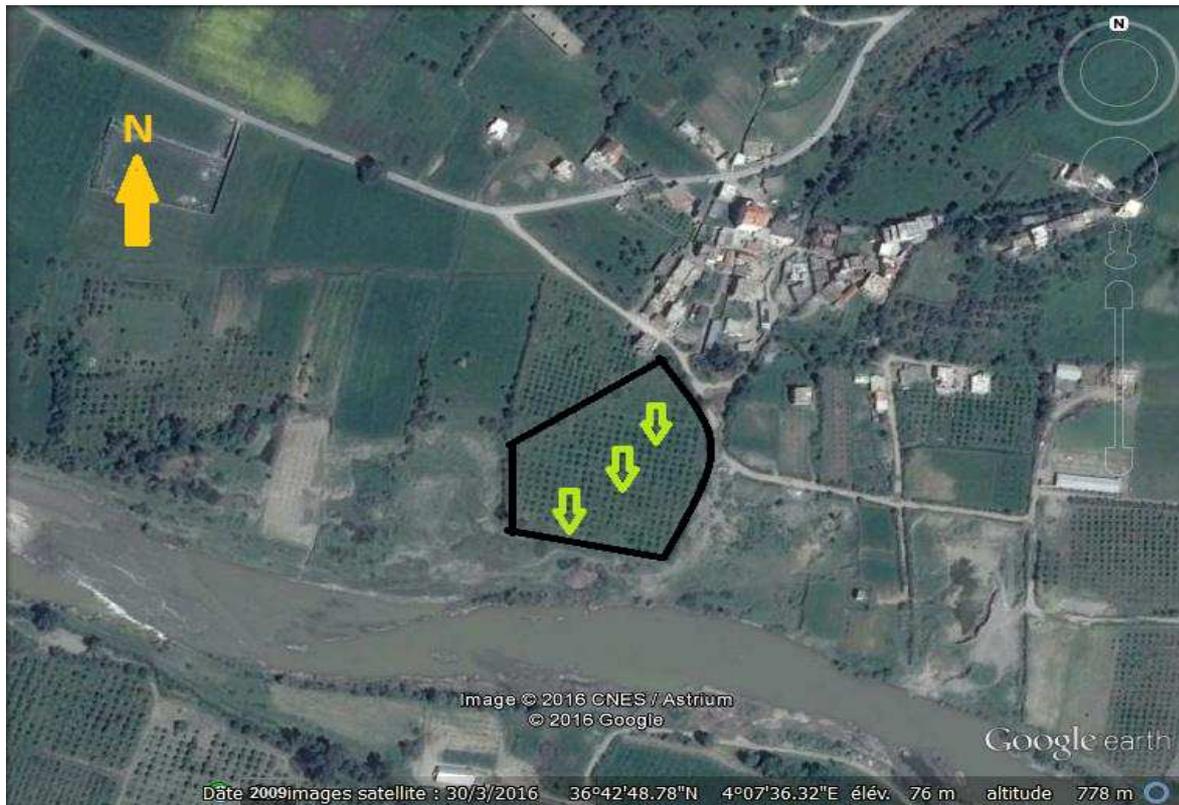


Figure 7: Image satellitaire de la parcelle 1 via Google Earth 2016

Tableau 10 : Les parametres de la 1^{ere} parcelle

Parametres	Donnees
u-dit	Thimizar-Elaghevar
ordonnees	X: 36°42'48.22"N
	Y : 4°07'37.32"E
Topographies	plat
Nombres de profil cultural	3
Type de culture	Oranger
Type d'engrais	boue
Date d'apport	2015
Doses apportees	Facon empirique



Figure 8: Image satellitaire de la 2^{eme} la parcelle via Google Earth 2016

Tableau 11 : Les parametres de la 2^{eme} parcelle

Parametres	Donnees
Lieu-dit	ThimizarElaghevar
Coordonnees	X : 36°43'30.69"N
	Y : 04°07'37.31"E
Topographie	Plat
Nombre de profil cultural	3
Type culture	Oranger
Type d'engrais	Boue
Date de l'apport	/
Doses apportees	Facon empirique



Figure 9: Image satellitaire de la 3^{eme} la parcelle via Google Earth2016

Tableau 12 : Les parametres de la 3^{em} parcelle

Parametres	Donnees
Lieu-dit	Sikh Oumedour
coordonnees	X : 36°42'25.07"N
	Y : 04°07'55.02"E
Topographie	plat
Nombre de profil cultural	3
Type culture	oranger
Type d'engrais	boue
Doses apportees	Facon empirique

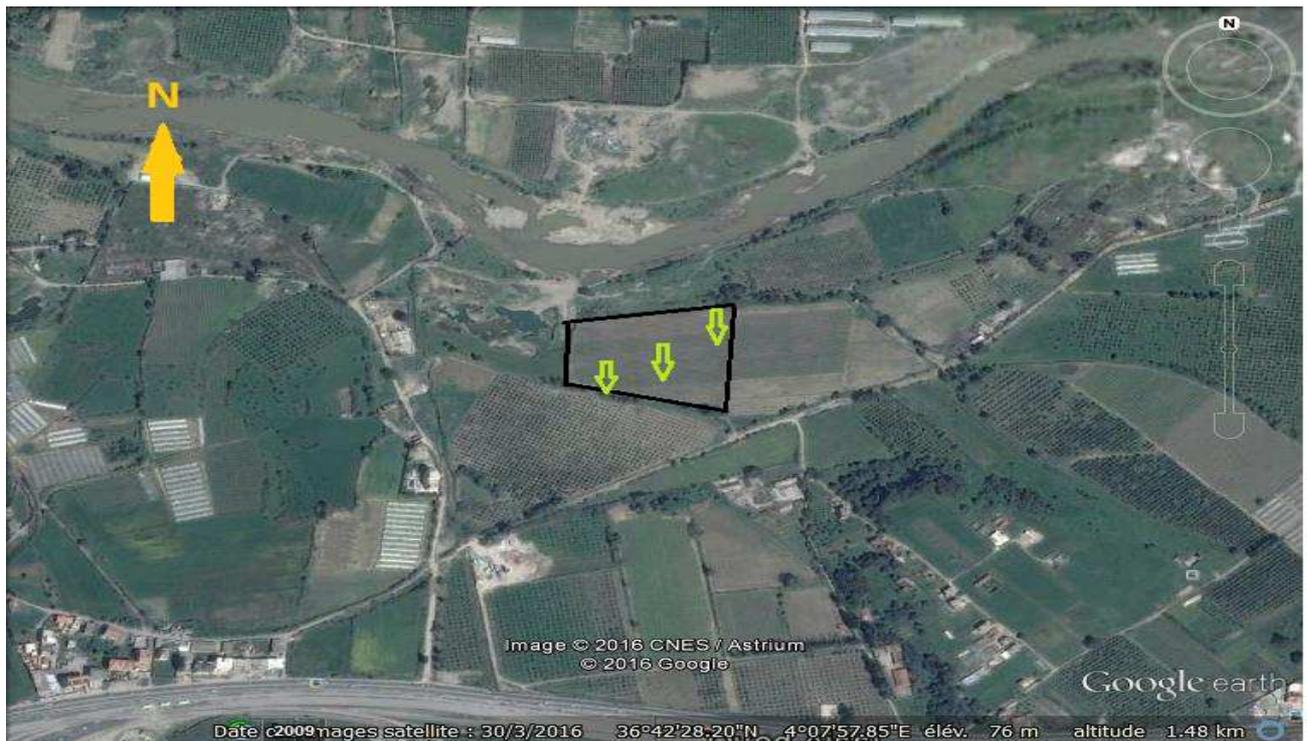


Figure 10: Image satellitaire de la 4^{eme} la parcelle via Google Earth 2016

Tableau 13 : Les paramètres de la 4^{ème} parcelle

Paramètres	Données
Lieu-dit	Sikh Oumedour
coordonnées	X : 36°42'29.20"N
	Y : 04°06'57.92"E
Topographie	Plat
Nombre de profil cultural	3
Type culture	Poirier
Type d'engrais	Boue
Date de l'apport	2013
Doses apportées	Façon empirique



Figure 11: Image satellitaire de la 5^{ème} la parcelle via Google Earth 2016

Tableau 14: Les parametres de la 05^{eme} parcelle

Parametres	Donnees
Lieu-dit	Oued AissiRehahlia
coordonnees	X : 36°42'31.11"N Y : 04°06'19.30"E
Topographie	Plat
Nombre de profil culturel	3
Type culture	Oranger
Type d'engrais	Boue
Date de l'apport	2012
Doses apportees	Facon empirique



Figure 12: Image satellitaire de la 6^{eme} la parcelle via Google Earth 2016

Tableau 15 : Les parametres de la 6^{eme} parcelle

Parametres	Donnees
Lieu-dit	Oued AissiRehahlia
coordonnees	X : 36°42'31.11"N
	Y : 04°06'19.30"E
Topographie	Plat
Nombre de profil cultural	3
Type culture	Oranger
Type d'engrais	Boue
Doses apportees	Facon empirique

5. Analyse des echantillons de sol

5.1. Preparation des echantillons

Les echantillons preleves sont achemines au laboratoire ou ils ont subi; le sechage a l'air libre et le tamisage au tamis 2mm (figures 13 et 14).

Le sechage : Consiste a etaler les echantillons sur du papier journal, chaque horizon sur une feuille tout en laissant de l'espace entre eux pour eviter toute contamination, puis fragmenter les mottes de terre a la main et homogeniser, et en dernier on les laisse secher a l'air libre le temps qu'il faut.



Figure 13 : Sechage des echantillons a l'air libre au laboratoire

Le tamisage : Faire passer le sol à travers un tamis de 2mm. La fraction inférieure à 2mm est appelée terre fine fera l'objet de certaines analyses physiques et de toutes les analyses chimiques. Ils sont par la suite conservés dans boîtes ou sachets jusqu'à l'utilisation. Une partie de chaque sol n'est pas tamisé jusqu'à l'analyse physique (stabilité structurale).

Au total, nous avons obtenu 54 prélèvements représentatifs des six parcelles étudiées, destinés à une série d'analyses physiques.



Figure 14 : Tamisage des échantillons au tamis de 2mm.

5.1.1. Densité apparente (D_a)

La densité apparente est l'un des paramètres les plus importants dans les études portant sur la structure du sol. Elle est en effet, liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol et caractérise l'état de compaction du sol (**Chauvel, 1977**). Il existe plusieurs méthodes de mesure de la densité apparente, dans notre étude, nous avons choisi la méthode au cylindre.

Le mode opératoire consiste à suivre les étapes suivantes :

- Aplanir la surface du sol en dégageant les débris végétaux.
- Placer le cylindre et le poussoir.
- Enfoncer le cylindre avec précaution jusqu'à ce que la surface de la couche mesurée dépasse la section supérieure du cylindre.
- Retirer le poussoir.



Figure 15 : Prélèvement du sol par la méthode au cylindre

- Extraire le cylindre avec un couteau à lame résistante, en passant sous le cylindre à distance suffisante pour éviter tout arrachement de la terre de la partie inférieure du cylindre.
- Araser progressivement les deux côtés du cylindre, d'abord avec une règle métallique en biseau pour la finition.
- Refermer hermétiquement le cylindre.
- En arrivant au laboratoire, peser à l'état humide et sécher à l'étuve à 105°C pendant 48 heures jusqu'à stabilisation du poids
- peser à l'état sec.

Après les pesées, nous avons calculé la densité apparente de l'échantillon comme suit :

$$Da = \frac{P(sec)}{V(cylindre)}$$

Où :

Da : densité apparente.

P : le poids sec de l'échantillon.

V : le volume du cylindre

5.1.2. La densité réelle

Pour mesurer la densité réelle, on applique la méthode du pycnomètre à eau ; celle-ci consiste à déterminer le volume d'eau déplacé par une masse connue d'un échantillon de sol dans un volume connu. A défaut de pycnomètre, on utilise des fioles de 100ml.

$$D = \frac{\text{poid de terre}}{\text{volume de terre}}$$

- ❖ Le mode opératoire consiste à suivre les étapes suivantes
- Soit P1 le poids du pycnomètre nettoyé et séché à l'étuve ;
- Soit P2 le poids du pycnomètre remplis d'eau ;
- Soit p3 le poids du pycnomètre contenant la masse de sol (10 g environ)
- Soit P4 le poids du pycnomètre remplis de sol et d'eau

- Pour déterminer P4 commencer par imbiber le sol avec une petite quantité d'eau et laisser reposer certain moment avant d'ajouter la quantité d'eau restante.

- En pratique, opérer dans l'ordre P1, P3, P4 et P2

Après avoir peser l'échantillon on a calculé la densité de l'échantillon comme suit :

$$D = \frac{(P3 - P1)}{(P2 + P3) - (P1 + P4)}$$

Où : P3-P1 est le poids de terre ;

(P2+P3)-(P1-P4)= (P2-P1)-(P4-P3) : volume de terre ;

(P2-P1) est le volume du pycnomètre ;

(P4-P3) est le volume d'eau ajouté pour compléter le pycnomètre

5.1.3. La porosité

L'air et l'eau occupent les vides laissés après assemblage des particules élémentaires du sol, ou résultant de l'action d'autres facteurs tels que le climat, l'homme ou la faune. Le volume de ces espaces lacunaires par rapport au volume total du sol est appelé porosité totale. Elle est exprimée en pourcentage (%). Une fois calculé, la densité réelle et apparente on peut alors calculer la porosité du sol selon la formule suivante :

$$P\% = \frac{D - d}{D} \cdot 100$$

5.1.4. Stabilité structurale

La stabilité structurale, c'est l'aptitude d'une terre à maintenir son état d'agrégation lors d'une agression par l'eau. Pour but de savoir la stabilité structurale de nos échantillons nous avons utilisé la méthode de Le Bissonnais qui consiste à 3 traitements, pour chaque traitement on a pesé 5g de terre d'agrégats tamisée entre 2 à 5 mm puis séchée à 40°C dans une étuve pendant 24 heures. Puis, faire les traitements suivants :

- Traitement 1 (humectation rapide par immersion)

Ce traitement permet de tester le comportement de matériaux secs soumis à des humectation brutales, du type irrigation par submersion, ou des pluies intenses (orage de printemps et été). Bien que dans ce dernier cas le choc des gouttes jouent également un rôle. Pour ce traitement on a utilisé la méthodologie suivante :

- peser 5g d'agrégats de 2-5 mm (poids initial)
- verser 50 ml d'eau permutée dans un bécher
- Verser les agrégats dans le bécher



Figure 16 : Tamisage et pesage des sols à 2 et 5mm

- laisser reposer 10 min (observation visuelle de l'éclatement)
- évacuer l'excès d'eau (par pipetage)
- transférer les agrégats sur un tamis de 50µm immergé dans l'éthanol
- récupérés les agrégats et séché 105°C dans une étuve pendant 24h

- superposé cinq tamis avec un ordre décroissant de haut en bas avec des diamètres respectifs 2, 1, 0.5, 0.2 et 0.1 mm, puis pesé à chaque fois le reste d'agrégats des différents diamètres.



Figure 17 : Le test d'humectation à l'eau

-Traitement 2 (test d'imbibition rapide par capillarité)

Ce test provoque la microfissuration des agrégats, pour cela, nous avons versé de l'eau dans un dessiccateur, et avec un système de mèche, constitué d'une plaque poreuse couverte d'un tissu très fin à pores, et d'une éponge absorbante spontex couverte du papier clinex.

-déposer les 5g d'agrégat de 2-5 mm sur le complexe pendant 30 min (attendre l'humectation des agrégats par capillarité)

- transférer l'agrégat sur le tamis de 0.5 mm immergé dans l'éthanol (en s'aidant d'une pissette d'éthanol)

-sécher les agrégats à 105°C dans une étuve pendant 24h

- superposé cinq tamis avec un ordre décroissant de haut en bas avec des diamètres respectifs 2, 1, 0.5, 0.2 et 0.1 mm, puis pesé à chaque fois le reste d'agrégats des différents diamètres.



Figure 18 : Test d'humectation par capillarité

Traitement3 : désagrégation mécanique par agitation après réhumectation

Ce traitement permet de tester la cohésion des matériaux à l'état humide indépendamment de l'éclatement. Cette réhumectation sans éclatement peut être réalisée soit par réhumectation sous vide soit par l'utilisation d'un liquide de non polaire et miscible à l'eau. L'éthanol convient très bien dans ce cas (Heninetal., 1958).

- Immerger les agrégats dans l'éthanol pendant 30 min
- évacuer l'excès d'éthanol
- verser 50 ml d'eau permutée dans l'erenmeyer
- transférer les agrégats dans l'erenmeyer(en s'aidant d'une pissette d'eau permutée)
- ajuster le niveau d'eau permutée à 250 ml (en versant avec la pissette sur le bord de l'erenmeyer).
- agiter manuellement l'erenmeyer en effectuant 10 retournements (on peut envisager de réaliser cette opérationmécaniquement avec agitateur adapté)
- laisser reposer 30 min. (observation visuelle de la décantation)
- évacuer l'excès d'eau (par pipetage)
- transférer les agrégats sur le tamis de 0.5 immergé dans l'éthanol (en s'aidant de la pissette d'éthanol).



Figure 19 : Désagrégation mécanique par agitation après réhumectation

Après les trois traitements, nous avons calculé les poids moyens pondérés pour chaque échantillon selon la formule suivante :

$$\text{MWD} = \sum (\text{diamètres entre 2 tamis (\%pondéral des particules retenues sur le tamis)} / 100$$

Les résultats obtenus seront présentés dans la partie résultats et discussion.

Résultats et discussion

1. Caractérisation des boues étudiées

1.1. Caractérisation des boues de la STEP Est

Les boues résiduairees utilisées dans l'expérimentation, issues à partir d'un processus de traitements des eaux usées, les boues activées à la station Est de Tizi-Ouzou, sont séchées à l'air libre pendant six mois (ONA 2011).

1.1.1. Matière sèche (MS)

La teneur en MS permet de connaître la quantité de boue, quelque soit son niveau de concentration dans la filière de traitement.

Les résultats d'analyse de la matière sèche enregistrée et illustrée par la figure 20, montre qu' à l'entrée du bassin d'aération 1et 2, une augmentation de la concentration de la matière sèche de ces boues avec 5,94 %et 5,89% par rapport à la norme d'AFNOR qui est de 2 à 5%, cela peut se traduire par l'absence du phénomène d'oxydation, en revanche, la décomposition de la matière sèche par les bactéries est déclenchée dans le bassin de stabilisation.

Le taux de MS contenue dans la boue étudiée est de 72,12% en moyenne, autrement dit c'est une boue solide, bien épaisse, non putrescible, elle ne risque donc pas d'engendrer des problèmes de toxicité due aux pathogènes une fois épandue.

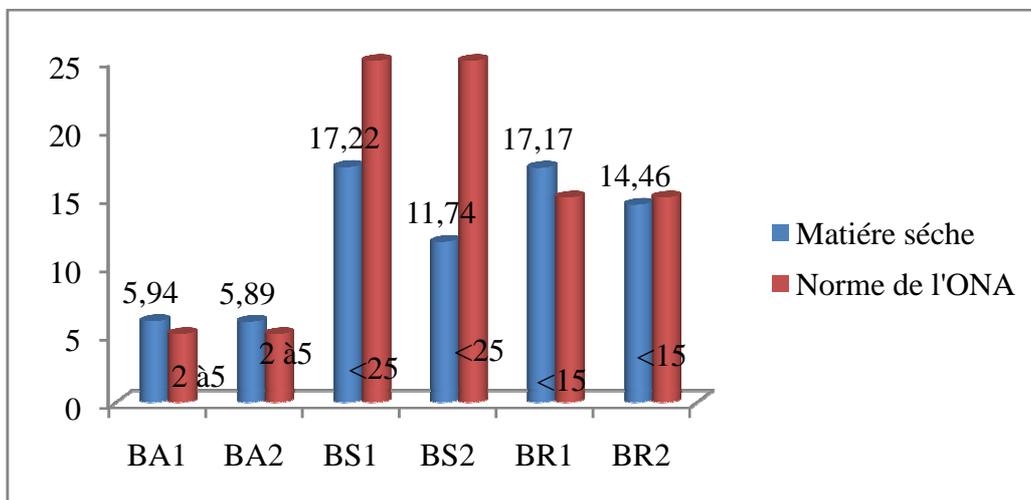


Figure 20: Représentation des teneurs en matière sèches des boues de la STEP Est

1.1.2. Matière volatile sèche (MVS)

Les matières volatiles en suspension(MVS) forment avec les matières minérales (MM) l'ensemble des matières sèches (MS).Les matières volatiles en suspension est la matière en suspension susceptible d'être volatilisée à une température de 550°C.

La concentration des MVS permet d'évaluer le degré de stabilisation des boues et leur aptitude à subir divers traitement (digestion, incinération...).

Pour les résultats de MVS, elles sont toutes proches aux normes (< 90 mg/l), ceci indique que le traitement biologique est efficace.

Les résultats obtenus sont assez satisfaisants, donc nous sommes en présence de boues prêtes à subir les traitements prévus.

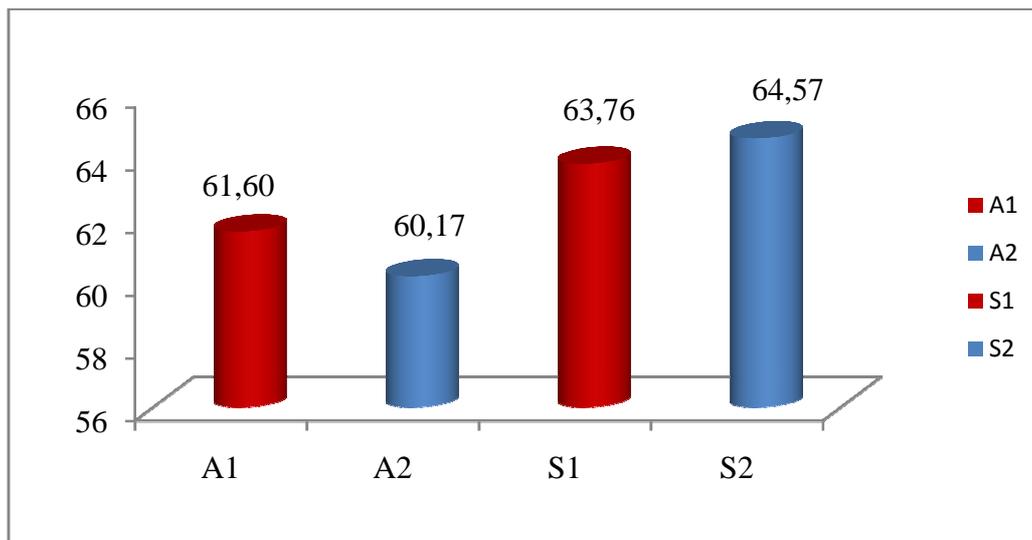


Figure 21 : Représentation des matières volatiles sèches de la boue de la Step Est

1.1.3. Décantation V_{30}

La décantation est une opération de séparation mécanique, par la seule action de la gravitation. L'indice de MOHLMAN (IM) est l'indice de décantation des boues. Ce dernier est défini en millilitre (ml) de volume de boue activée décantée en 30 mn par apport à la masse de résidu sec de cette boue (en gramme de matières).

Pour la boue, on a phénomène de bulking donc une décantation difficile.

L'essai est réalisé dans un cône IMHOFF de 1 litre que l'on remplit par un échantillon mixte prélevée dans le bassin de traitement biologique, puis on note le volume de boues après 30min. L'indice de MOHLMAN ou SLUDGE volume index (SVI) permet de traduire la bonne disponibilité ou non des boues à la décantation (**Rejsek, 2002**).

Dans le cas d'une lecture de boues décantées non comprise entre 100 et 300 ml (qui peut indiquer un problème de décantation) après 30min, une dilution est nécessaire, dans ce cas on calculera un autre indice : indice de boues IB.

Il est à noter que, plus la dilution est importante, plus la précision des résultats n'est faible.

L'interprétation des valeurs seuils de l'indice de boues, d'après un document de l'ONA, les conditions d'une bonne décantation sont représentées par un IB compris entre 80 et 150 ml/g et qui sont synonyme d'une sédimentation facile et d'une bonne minéralisation. Hors cet intervalle, les conditions d'évolution des boues sont le résultat d'une faible concentration ou d'une difficulté de décantation, liée à un foisonnement bactérien.

Les résultats obtenus permettent d'expliquer la situation suivante :

- au niveau des bassins d'aération (A1, A2) les prélèvements effectués le 15/05/2016 nécessitaient une dilution avec un facteur de dilution.

Dilution au $\frac{1}{4}$ → 250ml de boue + 750ml d'eau épurée → dilution 4

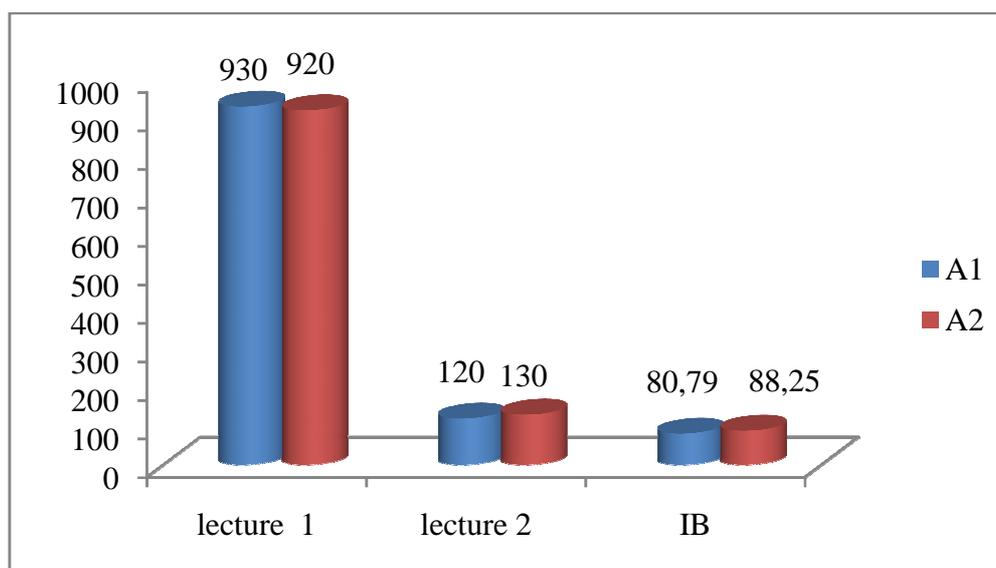


Figure 22 : Représentation des résultats de la décantation des boues du prélèvement

Les IB compris entre 80 et 100, indiquent une bonne décantation. Les résultats obtenus indiquent une décantation faible, selon (Rejesk,2002), les valeurs inférieures à 80 ml/g caractérisent une boue qui décante très rapidement, d'où le risque de dépôts dans les ouvrages et les canalisations. Bien que les résultats ne sont pas très loin de 80 ml /g le facteur de dilution est à prendre en considération.

2. Résultat d'analyses physiques du sol

2.1. Densité apparente

La densité apparente est une des caractéristiques physiques essentielles du sol. Elle renseigne sur la compaction et le volume poral du sol. La détermination de la densité apparente des échantillons prélevés dans l'horizon de surface montre que les sols amendés avec la boue (parcelles 1, 2, 4 et 5) ont des valeurs entre 1,30 et 1,47 g/cm³. Tandis que pour les sols non amendés (parcelles 3 et 6), on a enregistré des valeurs qui sont respectivement de 1,65 et 1,53 g/cm³. Les résultats sont représentés par la figure 23.

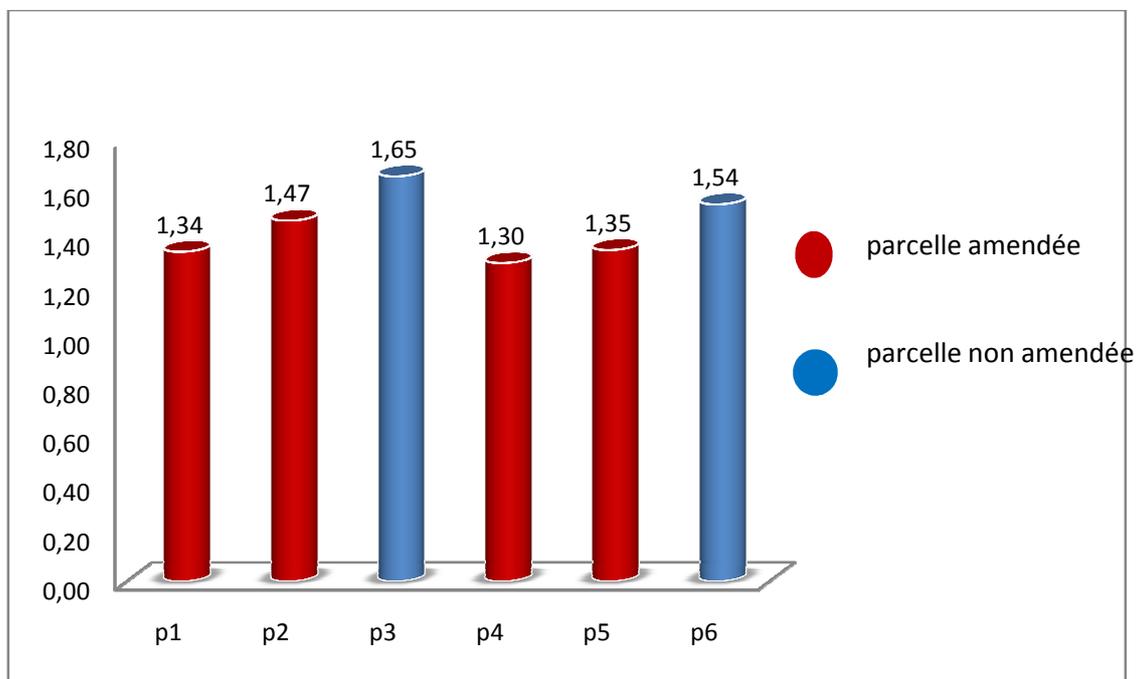


Figure 23: Les valeurs de la densité apparente des sols amendés et non amendés

De ce fait, on remarque que les sols amendés avec les boues sont moins compactés par rapport à ceux non amendés vu les valeurs des résultats obtenus, sauf pour la parcelle 5 où on enregistre un résultat inférieur, qui est probablement dû à un apport minime de boue et au manque du travail du sol.

L'application des boues résiduelles sur les sols, entraîne une diminution de la densité apparente en entraînant l'agrégation des particules du sol, ces résultats sont en accord avec ceux trouvés par **Surajet et al., (2015)**.

On conclut que les sols amendés avec les boues sont moins compactés par rapport au non amendés, donc plus de circulation et de stockage des fluides et des gaz.

L'application du test de comparaison de moyennes aux résultats obtenus, montre une différence significative pour ce paramètre (tableau 18 annexe).

2.2. Densité réelle

La détermination de la densité réelle a aussi fait l'objet pour permettre le calcul de la porosité totale des sols. Les valeurs obtenues sont représentées par la figure 24.

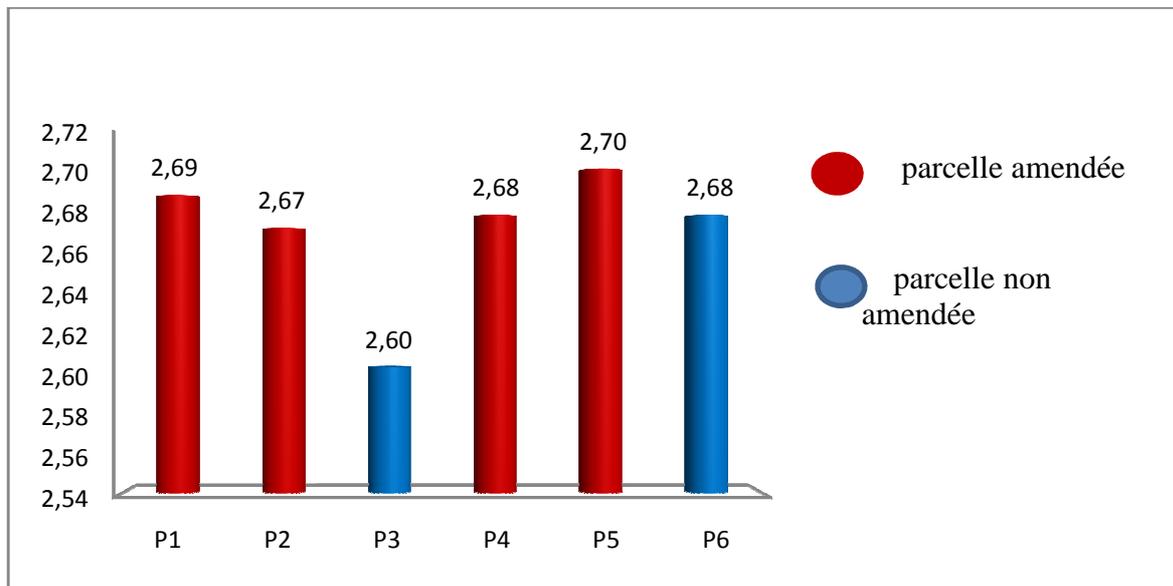


Figure 24: Evaluation de la densité réelle des différents sols étudiés

2.3. La porosité totale

L'air et l'eau occupent les vides laissés après assemblage des particules élémentaires du sol. Le volume de ces espaces lacunaires par rapport au volume total du sol est appelé porosité. Elle est exprimée en pourcentage (%).

Selon les résultats obtenus (figure 25), on remarque une variation de porosité totale des différents sols étudiés, allant de 38,46 à 51,49%, d'où, les sols étudiés ont des porosités faibles et bonnes. Une différence entre les sols des parcelles non amendées (avec une porosité de 38,46% pour la parcelle 3 et 42,48% pour la parcelle 6) et les parcelles amendées (avec une porosité avoisinante et dépassant 50% pour les parcelles 1, 2, 4 et 5).

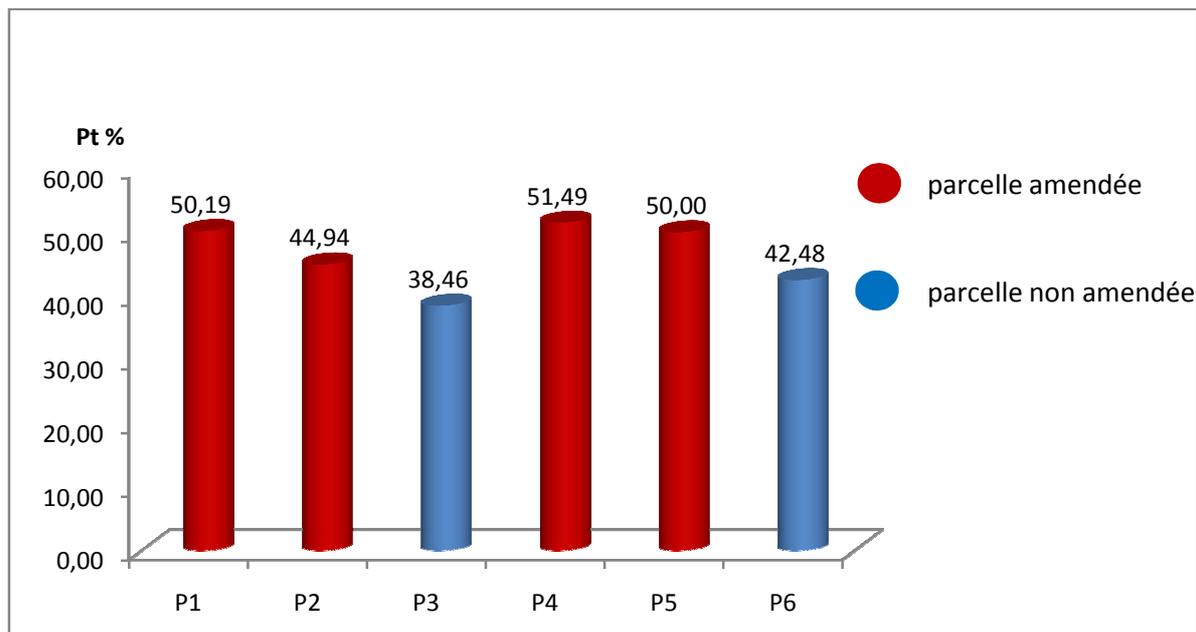


Figure 25 :Les porosités totale des sols amendés et non amendés

D'après les résultats obtenus (figure 25), la porosité des parcelles amendées est moyenne à très bonne (44,94% à 51,49%), par contre, celle des parcelles non amendées elle est faible (38,45% à 42,48%).

De ce fait, on conclut que l'apport de boues résiduaires permet d'augmenter le stock de matière organique (voir les résultats de Slimani, thèse en cours de réalisation) qui joue un rôle prépondérant dans l'assemblage des agrégats du sol, d'où, augmentation de l'espace poral (porosité totale). En effet, les sols amendés avec les boues ont une porosité supérieure par rapport à ceux non amendés, donc plus d'aération et de circulation des fluides et des gaz et aussi pénétration racinaire facile. Ces résultats sont conformes à ceux de **Dridi et Toumi(1999)** et indiquent un bon état physique des sols amendés. En effet, les résultats de test de comparaison de moyennes (tableau 19 en annexe), montrent un effet hautement significatif, d'où l'effet de l'apport des boues sur ce paramètre est bénéfique.

2.4. Stabilité structurale

2.4.1. Résultats de désagrégation totale par le test d'éclatement

Les distributions de la taille des particules résultant à l'issue du test de désagrégation totale par éclatement dans le cas des différents types de sols sont présentées dans le tableau 20 et figure 26.

On comparant l'échantillon des différentes parcelles, on peut noter une différence entre ces derniers dans la distribution granulométrique pour les agrégats.

On remarque que les parcelles 1, 4 et 5 réagissent à peu près de la même manière à l'action de l'eau, qui est un éclatement faible, et on aperçoit aussi une distribution importante dans la classe qui est supérieure à 2 mm après tamisage avec un pourcentage entre 28 à 42% (voir le tableau) et aussi on a enregistré respectivement des valeurs de 1.49, 1.51 et 1.43, et une valeur de 1.11 pour la parcelle 2 pour le diamètre moyen pondéral (MWD)

Pour les parcelles 3 et 6, on a constaté un fort éclatement, et une distribution granulométrique importante pour la classe qui est inférieure à 0.1 mm avec un pourcentage respectif de 62 et 25%, et un MWD de 0.47, et 0.92.

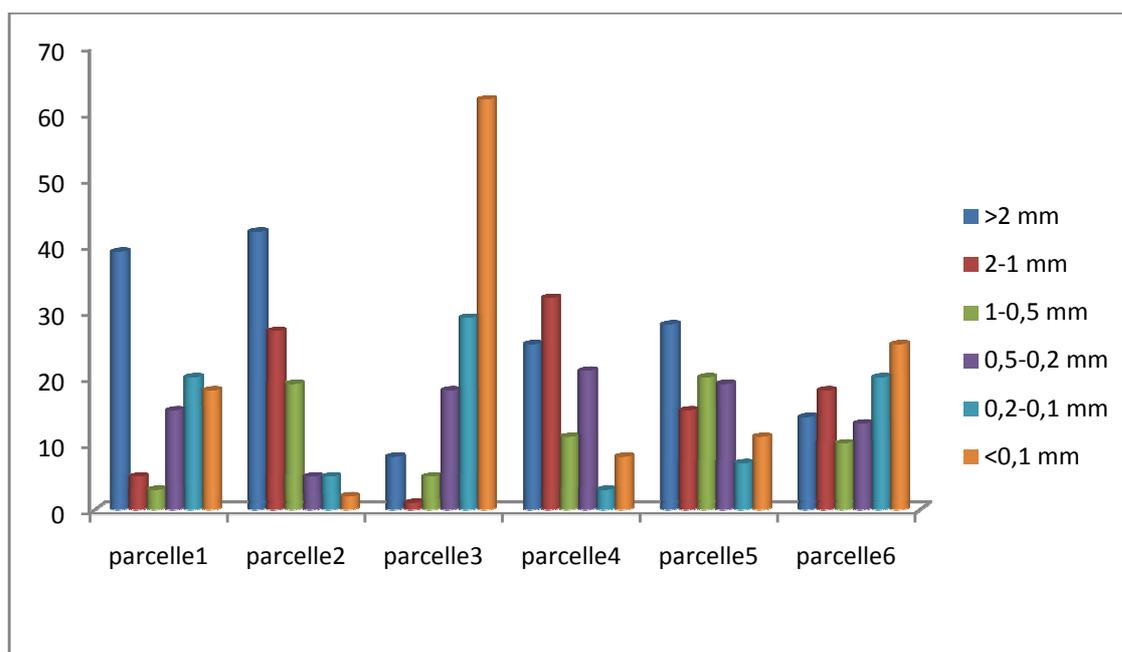


Figure 26: représentation en pourcentage des différentes fractions après éclatement à l'eau

On conclut que les parcelles amendées avec les boues de la station Est de Tizi Ouzo sont plus stables par rapport aux parcelles non amendées (selon les valeurs de MWD, voir les normes d'interprétation, tableau 20 annexe 4), ce qui confirme l'apport de la matière organique au sol par les boues (résultats de Slimani, en cours de réalisation), qui est un agent primordial pour la stabilité structurale, donc un risque d'érosion hydrique minimale pour les parcelles amendées par rapport aux autres non amendées.

2.4.2. Résultat du test d’imbibition par capillarité

Ce test permet de mettre en évidence la microfissuration, et les résultats de ce test sont présentés dans le tableau 21 et la figure 27.

On observe une domination claire de la classe granulométrique qui est supérieure à 2mm, pour les six parcelles, avec des pourcentages entre 72 à 90%, et une moyenne de diamètre pondéral situé entre 2.70 à 3.25 mm.

Selon les résultats obtenus, on déduit que la microfissuration est très basse pour tous les échantillons.

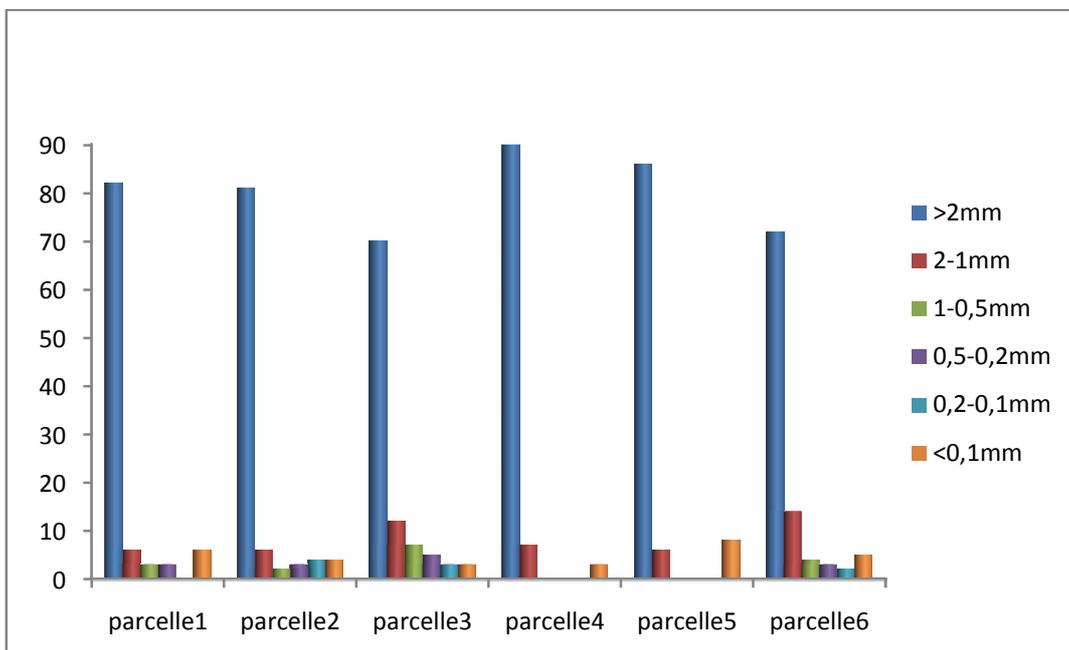


Figure 27 : Présentation en pourcentage des résultats après imbibition par capillarité

On conclut que, les parcelles amendées sont très stables par rapport à celles non amendées, qui sont stables selon les normes de Le Bissonnais, ce qui signifie la richesse de la boue en matière organique qui joue un rôle dans la stabilité structurale des agrégats du sol.

2.4.3. Résultats après le test désagrégation mécanique

Les résultats du test désagrégation mécanique sont illustrés dans le tableau 21 et figure 28.

On note une différence entre les classes de distribution granulométrique, où on remarque une dominance pour les agrégats supérieurs à 2mm pour les échantillon des parcelles 1, 2, 4, 5 avec des pourcentage respectifs de 27, 30, 26, et 40% , avec un diamètre moyen pondéral qui varie entre 1.35 à 1.90mm pour les mêmes parcelles, et de là, on déduit

une désagrégation faible. Pour les parcelles 3 et 6, on constate à peu près une même dispersion des agrégats sur les différents tamis, sauf pour la classe 0.2-0.1 mm qui est inférieure, et un diamètre pondéral de 1.098mm pour la parcelle 3, et de 1.23mm pour la parcelle 6, ce qui explique une désagrégation mécanique moyenne.

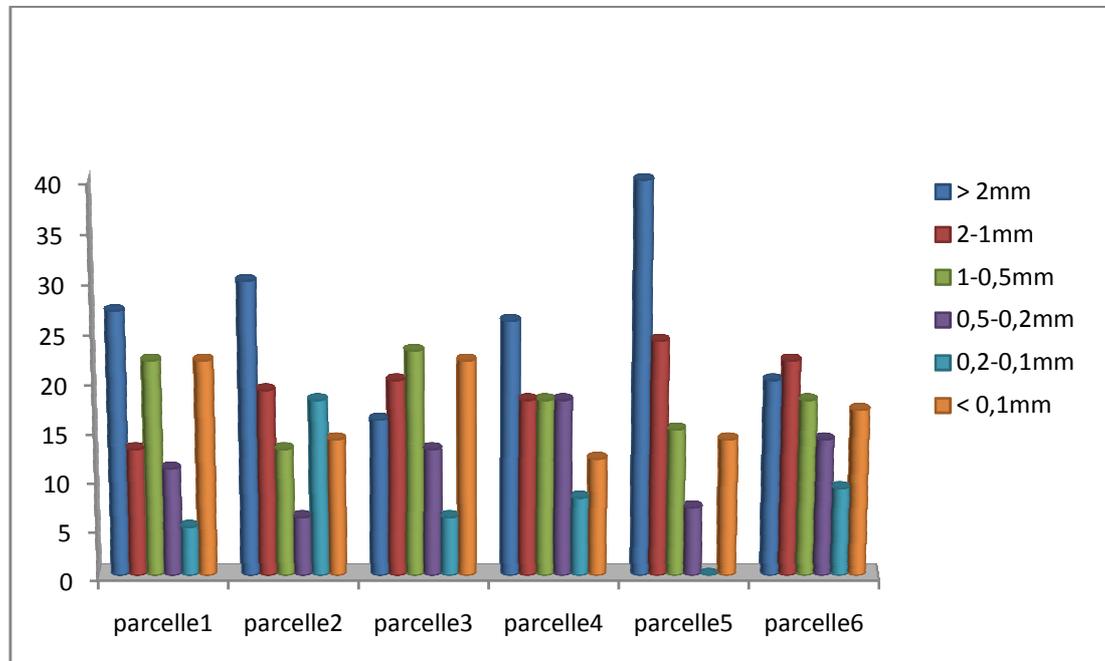


Figure 28 : Représentation en pourcentage des résultats après désagrégation mécanique

On aperçoit que même pour le test de désagrégation mécanique, on aboutit aux mêmes résultats que le 1^{er} traitement, c'est-à-dire que les parcelles amendées sont stables, selon les normes de Le Bissonnais (tableau 20 en annexe), et c'est un effet inverse pour les parcelles non amendées qui sont instables.

Tous les traitements effectués confirment que la boue est un amendement organique, présentant un rôle important dans la stabilité des agrégats, donc les sols amendés avec boues ne présentent pas ou présentent un faible risque à une dégradation structurale.

3. Discussion générale des résultats

L'analyse des résultats obtenus sur l'effet de l'épandage des boues sur les propriétés physiques des sols étudiés, montre un effet positif de cet amendement riche en matière organique (Cherfouh, 2012) voir tableau 18 en annexe.

3.1. Effet de l'amendement boues sur la densité apparente et la porosité totale des sols étudiés

L'apport des boues aux sols a un effet sur la diminution de leur densité apparente et sur l'augmentation de leur porosités totales, les résultats sont en accord avec ceux de **Dridi, (2011) ; Metzger et al., (1985) ; Garcia et al., (2005) et Bahri et Annabi, (2011) ; Surajet et al., 2015.**

En effet, es résultats du test de comparaison de moyennes (Student), à intervalle de confiance 95% appliqué aux résultats des paramètres physiques (densité apparente, porosité totales), a donné les résultats (tableau 18 et 19 en annexe). Comme la P-value est inférieure à 0,05, donc la différence est significative et l'apport de boues aux sols étudiés a amélioré la densité apparente et porosité totale des sols étudiés d'où amélioration de la perméabilité à l'eau et à l'air et aussi à la pénétration facile des racines des végétaux.

3.2. Effet de l'amendement boues sur la stabilité structurale des sols étudiés

Les sols amendés avec boues sont plus stables que les sols non amendés, ce résultat est conforme à celui de **Cherfouh et al., (2012) et de Bahri et Annabi, (2011)**. Cette stabilité structurale est le résultat de la richesse des boues apportées en matières organiques qui a un rôle important sur l'agrégation des sols et donc, leur protection contre l'érosion.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion générale

Le traitement des eaux usées génère une boue d'une valeur fertilisante considérable. Son utilisation raisonnée comme amendement organique, pourrait améliorer les qualités physiques, chimiques et biologiques des sols agricoles

Au terme de ce travail qui a porté sur la caractérisation de la boue et l'effet de son apport sur les propriétés physiques des sols agricoles, nous allons présenter les résultats les plus importants.

La densité apparente des sols amendés avec les boues résiduaire sont inférieures à celles de sols non amendés, ce qui signifie que l'apport des boues diminue ce paramètre physique du sol. Le test statistique montre une différence significative.

La détermination de la porosité totale des différents sols étudiés a montré que, les sols amendés présentent des valeurs supérieures à ceux des sols non amendés, ces résultats confirment l'effet de l'apport des boues sur l'agrégation des particules du sol et de ce fait, l'augmentation de l'espace poreux et l'amélioration de la porosité totale qui est un indicateur de qualité physique du sol. L'analyse statistique appliquée aux résultats a prouvé l'effet de l'apport des boues sur la porosité et la différence est significative.

Les différents traitements du test de Le Bissonais appliqués aux sols des couches superficielles a permis aussi d'évaluer la stabilité structurale. Les résultats obtenus ont montré que tous les sols amendés présentent une stabilité des agrégats supérieure à ceux non amendés. En effet, Les MWD, des particules des sols amendés pour les trois traitements sont supérieurs à ceux des sols non amendés.

Notre étude n'est qu'une contribution à la valorisation agricole des boues résiduaire urbaines, d'où il serait intéressant de multiplier les études et d'installer des dispositifs expérimentaux, pour tester plusieurs doses de boue et suivre l'évolution de ces paramètres physiques à long terme.

Le gisement des boues issue des stations d'épurations impose l'ONA de les valoriser, et c'est une exigence et non pas un choix optionnel, inscrite dans l'axe stratégique dans le but de protéger l'environnement et d'assurer le développement durable, pour cela il doit se conformer à quelques recommandations à savoir :

- ✓ Analyse de la situation actuelle, quantitativement et qualitativement destinées à la filière de recyclage agricole.
- ✓ encourager les agriculteurs à apporter de la boue sur leurs sols, et les informer de la valeur agronomique de cette dernière.
- ✓ désigner une commission scientifique pour les suivis sur le terrain et déterminer la technique et la dose nécessaire pour l'épandage.
- ✓ trouver une solution pour les métaux lourds existant.
- ✓ confronter au savoir européenne qui est assez avancé dans ce domaine.
- ✓ donner une valeur économique pour la boue, et la considérer comme étant un engrais et non pas un déchet.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

Abiven S, 2004: Relation autres métiers organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. Thèse du doctorat de l'EMSA.228p.

Ademe, 2001 : Les boues chaulées des stations d'épuration municipales: production,

Ademe, 2001 : Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture, Ademe

Ademe, 1999 : Situation du recyclage agricole des boues d'épuration municipales: production, qualité et valeur agronomique, Ademe édition, paris, pp. 224

AGGOUN Z. 1993 : Influence des boues résiduaires sur la stabilité structurle d'un sol cultivé.Thèse d'ing.INA. ALGER. 76P.

Alexandre D, 1979 : Valorisation des boues, utilisation en agriculture.

Allen, a., 2001: Containment landfills: the myth of sustainability. Engineering geology, p1-19, 60.

Amir S, 2005 : Contribution a la valorisation de boue de station d'épuration par compostage : devenir des micropolluants métalliques et organiques et bilan humique du composte, thèse de doctorat Faculté des Sciences Semlalia Marrakech.

Angers DA & Caron J, 1998: Plant-induced changer in soil structure: processes andfeedbacks. Biogeochemistry N, I, 42, pp55-72.

Anonyme, 1988: La valorisation agricole des boues des stations d'épuration urbaines, publication N °23.A.N.R.E.D. Angers(France) 117p.

Anred, 1988 : La valorisation agricole des boues de la station d'épuration. Cahier technique. 23.117p. Argentina. soil & tillage research, 54,31-39.

Association française pour l'étude des eaux ; 1974 : Utilisation agricole des boues d'origine urbaine, synthèse bibliographique. Centre national de documentation et d'information sur l'eau, 2 rue de Madrid, 75008 Paris.

Aubain P., Grazzo A., Moux J.L., Mugnier E., Brunet H., Landrea B., 2002 : Disposal and recycling routes for sewage sludge European commission DG Environment (EB/2)

Bahri H. et Annabi m. 2011 : effet des boues urbaines sur la mouillabilité et la stabilité structurale d'un sol cultivé, Etude et gestion des sols, volume 18,1, pp 7-15.

Basic, F., Kistic,I., Mesic, M., Nestroy, O, & Butorac, A. 2004: Tillage and corop management effects on soil erosion in central Croatia. Soil & Tillage Research, 78, 197-206.

Bechac; 1987: Traitement des eaux uses (2éme édition).

Références Bibliographiques

Benmouffok a 1994 : Caractérisation et valorisation des boues résiduaires de draa ben khadda. Cah .Agric.3ème édition J.L Eurotexte.P297.

Benmouffok a. 1980 : Contribution a l'emploi des boues résiduaires en culture maraichères. Thèse d'ing INA. Alger 36p.

Berchiche C.; Ladjimi S, 2010: Contribution à l'étude de la valorisation et de la caractérisation des boues résiduaires issues de la station d'épuration Est de Tizi-Ouzou. Essai expérimental sur le blé dur. Triticum durum. Var. Vitron pp 34-35.

Blondeau F ; 1985 : traitement centralisé des boues T.S.M l'eau, n°6, JUIN PP 231-242.

Brame, 1986 : Les procédés physico-chimiques d'épuration des eaux usées urbaines feries documents techniques A.F.E.E France.

Cherfouh R., Derridj A., Chikhi y., Yahia cherif L., Yataghene L. 2012: Application des boues résiduaires et effets sur les paramètres de production du blé. Journées Internationale de biotechnologie (19-12déc.2012) Tunisie.

Coïc, Y ; Coppenet M, 1989 : Les oligo-éléments en agriculture et élevage. Incidences sur la nutrition humaine. Paris : INRA Ed.114p.

Collection OTV. , 1997 : Ouvrage collectif. Traiter et valoriser les boues. Collection OTV. N°2. 457P.

Comité National des Boues (CNB), 2001 : Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture collection « valorisation agricole des boues d'épuration ». Ed. Ademe. France.

Coulibaly Mohand ALFATIHOU, 2010 : Contribution à l'analyse des eaux uses urbaines de la nouvelle station d'épuration Est de Tizi-Ouzou p34.

Debba MB, 1998 : Contribution à l'étude des boues résiduaires. Intérêt agronomique et effets des polluent dans le sol et le végétal. Mémoire de magistère en science agronomique université de Mostaganem.180p.

Degremont, 1966 : Mémento technique de l'eau.

Degremont, 1972 : Mémento technique de l'eau.

Degremont, 1978 : Mémento technique de l'eau : 8^{ème} édition. Edition Technique et Documentation Lavoisier, 1200p

Denis Baize, 2000 : Guides des analyses en pédologie, 2^{ème} Edition revue et augmenter. Edition I.N.R.A, Paris, France.

Références Bibliographiques

Des jardins, cite par fateh tamoul 2007: Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel « cas de la lagune de Beni-Messous » Institut des sciences de la mer et de l'Aménagement du Littoral – DEUA 2007

Dexter A R, 1997: Physical properties of tilled soils. *Soil and tillage research*.43, 41-63.

Dridi B et Toumi C., 1999 : Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. *Edition et Gestion des sols* 6. 1. Pp7-14.

Dridi B. et Toumi C., 1999 : influence d'amendement organique et d'apport de boue sur les propriétés d'un sol cultivé . *Etude et Gestion des sols*, 6, 1 pp 7 à 14.

Duchene, 1990 : Amélioration du traitement de l'azote des effluents.

Dudkowski A, 2000a : L'épandage agricole des boues de station d'épuration d'eau urbaines *courrier de l'environnement de l'INRA*. Octobre 2000, pp 134-135.

Ehlers W; Kopke U; Hesse F &Bohm W, 1983: Penetration resistance and root growth of oats in tilled and untilled loess soil. *Soil & Tillage Research*, 3,261-275.

El-fadel, M., khoury, R., 2000. Modeling Settlement in SWM Landfills: a Critical review in *environ. Sci. Technol.*30, 3, 327-361

Ferreras , L.A., Costa,J.L., Garcia,F.O & Pecoran, C.2000: effect of no tillage on some soil physical properties of structural degraded pertocalcic paleudoll od southern "pampa"of Fertilisantes sur l'enrichissement en métaux lourds des parcelles. Rapport du contrat 4084/93.

Garcia Orenes F.; Guerrero C. ; Matarx-Solera J.; Navarro-Pedreno J. ; Gomez I. ; et Mataix-Beneto J. ; 2005 : Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soil amended with biosolides. *Soil and Tillage Research*. V. 82. Issue 1.pp.65-76.

Gaultier Jean-Pierre et al : Devenir des éléments traces métalliques dans les sols du Vexin Français soumis à des épandages des boues ; dossier de l'environnement, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 360p.

Grant, C. A. & Lafond, G. P. 1993. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. *Canadian Journal of Soil Science*, 73, 223-232.

Grulois P ; Famel J ; Hangouet J P et Fayoux C, 1996 : Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme...en boues, l'eau, l'industrie, les nuisances, 195, pp42-46.

Références Bibliographiques

Hammel, J. E. 1989: Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and soil impedance in Northern Idaho. *Soil Science Society of America Journal of North American*. 1(5), pp. 1044-1049.

Hénin S., Monnier G. et Combeau A., 1958 : méthode pour l'étude de la stabilité structurale des sols. *Annales Agronomique*, 9, 73-92.

Hill, R. L. 1990: Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Science Society of America Journal*, 54, 161-166.

Ifen, 2001: Plus de 60% des boues d'épuration municipales ont été épandues en 1989 sur 2% des sols agricoles. *Les données de l'environnement*, N° 63, Février 2001, 4 page.

Jamonet B, 1987 : Le traitement des boues résiduaires. Université des sciences et technique du Languedoc. Montpellier.

Jarde, E 2002 : Composition organique de boues résiduaires de stations d'épuration lorraines: caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation.

Jocteur Monrozier L, 2001 : Conséquence de l'anthropisation des sols. Les Boues quels risques? Colloque Marseille, 5 avril 2001. Mounement Nationa de lutte pour l'Environnement.

Jokien, 1990: "Effet of phosphorus precipitation chemical on characteristics and agricultural value of municipal sewage sludges » *Characterisatics of Ca, Al and Fe precipitated sewage sludges* " *Act Agri. Scand.* 40 :123-129.

Juste et Solda, 1997 : Effets d'application massive de boue de station d'épuration en monoculture de maïs : action sur le rendement et la composition des plantes et sur quelques caractéristiques du sol ; pp147-155.

Kirkham, 1982: Agricultural use of phosphorus in sewage sludge » dans: *Adv.In agron.* page 129-163.Elsevier.

kockmann, 1996 : ADEME- journées techniques des 4 et 5 décembre 1996-valeur fertilisante des boues d'épuration urbaines.

Koller E, 2004 : Traitement des pollutions industrielles eau, air, sols, boues. Ed 2004, pp 4-22.

Ladjel, 2004 : L'exploitation des eaux usées urbaines dans la station d'épuration CFMA-Boumerdes.

Lassée C, 1985 : Analyse des boues A.F.E.E.T₁ ; 137p, T₂ ; 127p

Références Bibliographiques

Lindsay et Logan, 1998: Field response of soil physical properties to sewage sludge. Journal of Environmental Quality, 27, pp 534-542.

Metzger L, Levanon D. et Mingelgrin U., 1985: the effect of sewage sludge on soil structural stability. Microbiological Aspects. Soil Science of America Journal. Vol. 51 N°2, pp. 346-351.

Morel j. l et jaquin, 1980 : Influence des boues des stations d'épuration sur les propriétés physiques du sol. In : Symposium EAS, utilisation agricole des boues provenant des stations d'épuration, Bale, Suisse.

Morel J.L. 1977 : contribution a l'étude de l'évolution des boues résiduaire dans le sol. These de doctorat, u. Nancy, 11 p

Morel. 1981, guckert. 1981: influence of limed sludge on soil organic matter and soil physical properties of soils. reidelpublishing company. Company, catroux Gand L'hermiteP, Dordrecht Holla nd, ppn25-42

Morel. et jacquin. 1978 : utilisation agricole des boues résiduaire chaulées. Incidence de trois années d'épandage sur la fertilité d'un sol neutre de limon. Ministère de l'environnement. Comité sci-sol et déchets solides. 29p.

Nakib M, 1986: Contribution à l'étude des possibilités d'utilisation des eaux usées et des boues d'épuration dans l'agriculture Thèse de Magistère. INA, Alger, 81p.

O.P.E.C.S.T; 2001: Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, par Miquel G. Rapport n°261. pp100-261.

Pommel B. 1979 : La valorisation agricole des déchets. Les boues résiduaire urbaine. 73p.

Prévôt H. 2000 : La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du conseil général des mines. Juillet 2000. qualité et valeur agronomique, Ademe édition, Paris, pp. 224.

Rejsek, F. 2002: Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. Ed CRDP d'Aquitaine. France : 358p.

Rhoton, F. E., Bruce, R. R., Buehring, N. W., Elkins, G. B., Langdale, C. W. & Tyler, D. D. 1993: Chemical and physical characteristics of four soil types under conventional and no-tillage systems. Soil & Tillage Research, 28, 51-61.

Rhoton, F. E., Bruce, R. R., Buehring, N. W., Elkins, G. B., Langdale, C. W. & Tyler, D. Rodier J; Bazin c ; Chambon p ; Broutin J-P. Champsaud H ; Rodi L, 1996 : Analyse de leau : eau naturelle, eaux résiduaire, eaux de mer, 8^{ème} édition. Edition DUNOD, Paris. 1983 p.

Références Bibliographiques

Sbih M. 1990 : Etude de la biodégradation des boues résiduaires de station d'épuration: effet pour la biodisponibilité du phosphore pour le végétal. Mémoire DAA. INAPG et INRA Grignon 39p. Scenarios', Resources, Conservation and Recycling, Vol. 35, pp. 191 – 200.

Soltner, 2000: les bases de la production végétale T1 : le sol, 22eme édition science et technique agricole Maine et Loire France 457p.

Sommelier et al, 1996 : La valeur phosphatée des boues résiduaires des stations d'épuration urbaines. Ademe. Edition, Angers.

Sommers, 1977: «Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers » journal of environment quality, pp 225-232.

Stengel P; Douglas J T. Guérif J. Goss M J; Monnier G & Cannell R Q, 1984: Factors influencing the variation of some proprieties of soils in relations to their suitability for direct drilling. *Soil & Tillage Research*, 4, 35-53.

Suh Y.J. et Roussaux P., 2002: An LCA of Alternative Waste Water Sludge Treatment

Surajet Mondal ^a, D.D.Singl ^b, A. k Patra ^b, B, S Dwivedi ^b 2015: Changes in soil quality in resposse to short-tem application of municipal sewage sludge in a type laplustept render compe- Wheat cropping system. *Environnemental Nationotechnology, M onitoning et M anagement Vol.4 pp.37-41.*

Tauzin, C., Juste C., 1986 : Effets de l'application à long terme de diverses matières.

Tebrüge f., Düring r.a., 1999. Reducing tillage intensity, a review of results from a long term study in Germany. *Soil & Tillage Research*, 53: 15-28.

Tillage Research, 45, 39-57.

Unger, P. W. & Jones, O. R. 1998: Long-term tillage and cropping systems affect bulk.

Werther J; Ogada T, 1999: Sewage sludge combustion. *Progress in Energy and Combustion*.

Annexes

Tableau 16: caractéristiques physiques et chimiques des boues résiduaires de la STEP Est

Paramètres	Résultats
MS (%)	83.2
Ph	7.8
CE ds/m	1.9
C(%)	15.45
TKN(%)	2.15
C /N	6.62

Source : Cherfouh, (2012)

Tableau 17 : boues sèches (STEP Est)

Paramètres	Résultats
Ch	35(mg/hg)
Ni	21
Cu	110
Cd	1
Pb	58
Zn	323

Source : ONA, (2014)

Tableau 18 : Résultats du test de Student pour le paramètre densité apparente

t	df	P-value	Pp
-3,3289	6,4	0,01438	0,05

Tableau 19 : Résultats du test de Student pour le paramètre porosité totale

t	df	P-value	Pp
3,3722	9,892	0,0072	0,05

Tableau 22 : Classe de stabilité, baltance et érosion hydrique en fonction de valeurs de diamètre moyen pondéral après désagrégation (MWD).

MWD	Stabilité	Baltance	Ruissellement et érosion diffuse
0,4 mm	Très stable	Systématique	Risque important et permanent en toutes conditions topographiques
0,4 mm - 0,8 mm	Instable	Très fréquente	Risque fréquent en toute situation
0,8 mm - 1.3 mm	Moyennement stable	Fréquente	Risque variable en fonction des paramètres climatiques et topographiques
1,3 mm - 2,0 mm	Stable	Occasionnelle	Risque limité
2,0 mm	Très stable	Très rare	Risque très faible

Résumé

L'aspect bénéfique de l'épandage des boues résiduaires issues de stations d'épuration urbaines sur les sols agricoles a fait l'objet de nombreuses études. Notre travail a pour objectif de démontrer l'effet de l'épandage des boues résiduaires de la station d'épuration urbaine Est de Tizi-Ouzou sur quelques propriétés physiques des sols. Pour répondre à cet objectif, nous avons choisis les parcelles arboricoles, présentant une partie amendée avec les boues et une autre non amendée. Les résultats obtenus, ont montré une diminution de paramètre densité apparente et augmentation de la porosité totale et de la stabilité structurale des sols amendés. Les résultats sont statistiquement significatifs, d'où il serait intéressant d'installer des essais expérimentaux in situ, en utilisant plusieurs doses de boues dans un but d'améliorer mieux les qualités physiques des sols et de préserver sa fertilité tout en le protégeant contre l'érosion hydrique.

Mots clés : Boues résiduaires, STEP, valorisation agricole, densité apparente, porosité totale, stabilité structurale.

Summary

The beneficial aspect of the spreading of sewage sludge from urban wastewater treatment plants on agricultural land was the subject of numerous studies. Our work aims to dismantle the effect of the spreading of sewage sludge from urban wastewater treatment plant east of Tizi-Ouzou on some physical properties of soil. To meet this goal, we have chosen the tree plots, with some amended with sludge and other un amended. The results obtained showed a bulk density parameter reduction and increased total porosity and structural stability of the amended soils. The results are statistically significant, hence it would be worth trying to install experimental in situ, using multiple doses of sludge in order to better improve the physical qualities of the soil and preserve its fertility while protecting against the water erosion.

Keywords: Waste sludge, STEP, agricultural recycling, bulk density, total porosity, stability structural.