

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 (GDS)

Thème

*Contribution à l'étude de l'effet de l'épandage des boues
résiduaires sur les propriétés physiques et chimiques des sols
agricoles dans la willaya de Tizi-Ouzou*

Réalisé par :

M^{elle} SILI Faiza

M^{elle} MOSTEFAI Fatiha

Devant le jury composé de :

M ^{me} BOURBIA MOUAS S.	Maitre de Conférences B	UMMTO	Président
M ^{elle} OMOURI O.	Maitre assistante B	UMMTO	Promotrice
M ^r BOUDJMA S.	Maitre-assistant A	UMMTO	Co-promoteur
M ^r MERROUKI K.	Maitre de Conférences B	UMMTO	examineur
M ^r HAMMOUM A	Maitre de Conférences B	UMMTO	examineur
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 à 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 remerciment s'adressent aussi à notre Co -promoteur **M^r BOUDJAMA .S** qui nous a aidés à réaliser ce modeste travail.*

*Nous remercions **M^{me} MOVAS BOURBIA S.** qui, malgré sa lourde charge, elle a accepté de présider le jury.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements aux égards des membres de jury **M^r MERROUKI K** et **M^r HAMMOUM A** pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

Nous tenons aussi a exprimé nos remerciements aux responsable et personnel de la step Est de l'ONA pour nous avoir accueillis dans leurs établissement.

*Nous remercions l'équipe du laboratoire département biologie et agronomie pour leur accueil, leur collaboration et leur disponibilité en particulier **M^{me} TIBICHE G.** et **M^{lle} ISSAOUN DJ.***

*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 sont 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.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents

Tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je vous porte, et la profonde gratitude que je vous témoigne, pour tous les efforts et les sacrifices que vous n'avez jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien être.

C'est à travers vos encouragements que j'ai opté pour cette noble profession, et à travers vos critiques que je me suis réalisée. J'espère avoir répondu aux espoirs que vous avez fondés en moi. Je vous rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour.

Vous résumez si bien le mot parents qu'il serait superflu d'ajouter quelque chose.

Que dieu tout puissant vous garde et vous procure santé, bonheur

A mes frères et sœurs : Ouiza, Nora ,Zahra ,Madjid , Redouane, Nassima, ,Nassim ,Hayet

Je ne peux pas exprimer à travers ces lignes tous mes sentiments d'amour et de tendresse envers vous, puisse l'amour et la fraternité nous unissent à jamais, je vous souhaite la réussite dans votre vie avec tout le bonheur qu'il faut pour vous combler.

A mes beaux frères et belle sœur : Rachid, Smail, fatma

Qui font partie de ces personnes rares par leurs gentillesse, leurs tendresses et leurs grands cœurs. Qu'ils trouvent ici, le témoignage de tout mon amour et toute ma reconnaissance pour leur grand soutien. Je vous souhaite une vie pleine de réussite, de santé et de bonheur.

A mes neveux : Karim et Lamine

Mes adorables anges, Dieu puissent vous garder et vous procurer santé, bonheur et longue vie.

Aux mémoires de mes grands parents

Le destin nous a pas laissé le temps pour jouir ce bonheur ensemble et pour vous exprimer tous mes respect, puisse Dieu le tout puissant, vous accorde sa clémence, ça miséricorde et vous accueille dans son vaste paradis.

A mes oncles, mes tantes, cousines et cousins.

A ma meilleure amie: Kenza

A ma binôme et chère amie Fatiha et à toute sa famille

A tous ceux ou celles qui me sont chers et que j'ai omis involontairement de citer

A tous mes enseignant(e)s

A toute la promotion gestion des déchets solides : 2015-2016

A tout ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Faiza

Dédicaces

Je dédie cet humble à :

Mes très chers parents pour leur aide et leur soutien

Tout au long de mes études, et qui ont fait de moi ce que je suis aujourd'hui, j'espère qu'un jour, je serai capable de leur rendre au moins le minimum. Que Dieu les protège.

A mon frère : Yanis

A mes sœurs : Aziza et Safia

A mon beau frère : Messaoud

A mon mari Riadh et ma belle famille

Ton aide, ta générosité, ton soutien ont été pour moi une source de courage et de confiance. Qu'il me soit permis aujourd'hui de t'assurer mon profond amour et ma grande reconnaissance. J'implore Dieu qu'il t'apporte bonheur, sante, et longue vie à toi et à ta famille.

A ma grand mère et grand père

A mes oncles, tantes, cousines et cousins

A ceux qui m'ont encouragée et soutenue dans mes moments les plus durs et ceux à qui je dois tant.... Mes chères amies

A mes meilleures amies : KENZA, Sabrina, Nassima, Chahira et djouhar

A ma binôme et chère amie Faiza et à toute sa famille

A toute la promotion gestion des déchets solides: 2015-2016

Et a toutes les personnes qui croient en moi

Fatiha

Liste des abréviations

ADEME : Agence de développement de l'environnement (France)

AFNOR : Association Française de Normalisation

CEN : Comité Européen de Normalisation

CE : La conductivité électrique

CEC : Capacité d'échange cationique

°C : Degré Celsius

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO₅ : Demande biochimique en oxygène en 5 jours

Da : Densité apparente

Dr : densité réelle

MS : Matière sèche

MVS : Matière volatile sèche

MM : Matière minérale

MV : Matière volatile

M.O : Matière organique

N : Azote

P : Phosphore

pH : Potentiel d'hydrogène

PCI : Pouvoir calorifique inférieure

PCS : Pouvoir calorifique supérieure

STEP : station d'épuration de traitement des eaux polluées

SPDE : Syndicat professionnel des entreprises de services d'eau et d'assainissement

O.I.EAU: Office International de l'eau

ONA : Office National d'Assainissement

EPA : Agence fédérale pour la Protection de l'Environnement

ETM : Éléments traces métalliques

CTO : Composés traces organiques

V_{30D} : volume diluée

BA : bassin d'aération

BS : bassin de stabilisation

BR : bassin de retour

I_n : indice de volume d'aération

IB: L'indice de boue

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

ppm : partie par million

Liste des figures

Figure1: Représentation schématique d'une filière de traitement des boues (Baudez, 2001).....	12
Figure 2 : Image satellite de la parcelle de TADMAIT (Google Earth 2016).....	24
Figure 3: Image satellite de la parcelle de BOUKHALFA (Google Earth 2016).....	24
Figure 4: Photo illustrant le test de décantation V_{30}	26
Figure 5 : Photo illustrant la détermination de la matière sèche	27
Figure 6: Photo illustrant la détermination matières volatiles sèches.....	28
Figure 7 : Prélèvement d'échantillons avec une tarière	29
Figure 8: Photo représentatif de la parcelle du domaine BENCHAKEL Kamel	30
Figure 9 : Photo représentatif de la parcelle du domaine OUMELIL	30
Figure 10 : Séchage des échantillons a l'aire libre au laboratoire.....	31
Figure 11 : Photo représentant les deux fractions du sol après tamisage.....	31
Figure 12 : Prélèvement des échantillons à l'aide d'un cylindre	32
Figure 13: Mesure la densité réelle avec les fioles.....	33
Figure 14 : pH METRE.....	34
Figure 15: CONDUCTIVIMETRE.....	34
Figure 16 : Photo représentative du Dosage du Calcaire total	35
Figure 17: Photo représentative du spectrophotomètre et de la gamme d'étalonnage	35
Figure18: Représentation des teneurs en Matière sèches des boues de la step Est.....	37
Figure 19 : Représentation des matières volatiles sèches de la boue de la step Est	38
Figure 20: Représentation des résultats de la décantation des boues du prélèvement.....	39
Figure 21 : les valeurs moyennes de la densité apparentes des parcelles étudiées (Boukhalfa)	40
Figure 22 : les valeurs moyennes de la densité apparentes des parcelles étudiées (Tadmait).....	40

Figure 23: les valeurs moyennes de la porosité des parcelles étudiées	42
Figure24: Evaluations des moyennes de pH_{eau} des parcelles Boukhalfa amendées en fonction des profondeurs	43
Figure 25: Evaluations des moyennes de pH_{eau} des parcelles Boukhalfa non amendées en fonction des profondeurs	43
Figure 26: Evaluations des moyennes de pH_{eau} des parcelles Tadmait amendées en fonction des profondeurs	44
Figure 27: Evaluations des moyennes de pH_{eau} des parcelles Tadmait non amendées en fonction des profondeurs	44
Figure 28: Résultat de la moyenne de la conductivité des parcelles étudiées de Tadmait.....	45
Figure 29: Résultat de la moyenne de la conductivité des parcelles étudiées de Boukhalfa	46
Figure 30: Taux moyenne en calcaire total des parcelles amendées de Boukhalfa	47
Figure 31: Taux moyenne en calcaire total des parcelles non amendées de Boukhalfa	47
Figure32 : Taux moyenne en calcaire total des parcelles amendées de Tadmait.....	48
Figure 33: Taux moyenne en calcaire total des parcelles non amendées de Tadmait	48
Figure 34 : Teneurs en P assimilable des sols de la parcelle de Tadmait	49
Figure 35 : Teneurs en P assimilable des sols de la parcelle de Boukhalfa	49
Figure 36: Résultat de la moyenne du pH des parcelles amendées et non amendées	50
Figure 37: la moyenne de la conductivité électrique des sols des parcelles amendées et non amendées	51
Figure 38: Taux moyens de calcaire des sols amendés et non amendées	51
Figure 39: Effets comparatif des boues sur le taux du phosphore assimilable dans les sols amendés et non amendés	52
Figure 40: Effet comparatif des boues sur la densité apparente des sols amendés et non amendés	53
Figure 41: Effet comparatif des boues étudiées sur la porosité des sols des parcelles amendées et non amendées.....	53

Liste des tableaux

Tableau 1: Consistance et siccité des boues (Cherifi N, juin 2013)	5
Tableau 2: composition des boues selon la filière de traitement des eaux résiduaires urbaines (REJSEK, 2002)	10
Tableau 3 : Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs (Duchene, 1990)	11
Tableau 4 : composition générale des boues d'épuration (Dudkowski, 2000a)	17
Tableau 5: 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)	22
Tableau 6: Les paramètres de la parcelle du domaine de Benchakal de TADMAIT	25
Tableau 7 : Les paramètres de la parcelle du domaine d'Omellil de BOUKHALFA	25
Tableau 8: les valeurs moyennes de la densité réelle des parcelles étudiées	41

Sommaire

Introduction générale.....	1
Partie I: Synthèse bibliographique	
Chapitre 1 : Généralités sur les boues résiduaires.....	3
1. Définition d'une boue.....	3
2. Origine et formation des boues	3
3 .Les différents types de boues.....	3
3.1 .Les boues résiduaires urbaines	3
3.2 .Les boues biologiques ou secondaires	4
4. Caractéristiques des boues	4
4.1. Caractéristiques physique	4
4.1.1. L'indice de MOHLMAN	4
4.1.2. L'indice des boues	4
4.1.3 .Teneur en matière minérale	4
4.1.4. Matière sèche et siccité	5
4.1.5. Matière volatile	5
4.1.6. Pouvoir calorifique	5
4.1.7. Consistance de la boue	5
4.2. Facteurs caractérisant la structure des boues.....	6
4.2.1 .La viscosité	6
4.2.2. Granulométrie	6
4.2.3. Nature de l'eau contenue dans la boue	6
4.3. Caractéristiques chimiques des boues	6
4.3.1. Acidité des boues	6
4.3.2. Demande chimique en oxygène (DCO).....	7
4.3.3. Demande biochimique en oxygène (DBO5)	7
4.4. Caractéristique biologique	7
4.4.1. Composition des matières organiques.....	7
4.4.2. Composition des matières minérales.....	7
4.4.3. Les Micropolluants	8
4.5. La composition en éléments chimiques des boues.....	8
4.5.1. Le carbone	8

4.5.2. L'azote	8
4.5.3 .Le phosphore	8
4.5.4. Le potassium	8
4.5.5. Le soufre	9
4.5.6. Le calcium, le magnésium et le sodium	9
4.5.7. Les métaux lourds	9
5. Traitement des boues	10
5.1. Objectif.....	10
5.2. Système de traitement des boues.....	11
5.2.1. Traitement de stabilisation.....	12
5.2.1.1. Stabilisation biologique	13
5.2.1.2. Le compostage	13
5.2.1.3. Stabilisation chimique	13
5.2.2. Le séchage thermique	13
5.2.2.1. Réduction de la teneur en eau des boues	14
5.2.2.1.1. L'épaississement.....	14
5.2.3. La déshydratation.....	14
5.2.4. Les traitement d'hygiénisations	15
6. Production et destination des boues résiduaires	15
6.1. Production des boues	15
6.2. La mise en décharge	15
6.2.2. Incinération.....	15
6.2.3. Valorisation agricole	16
6.2. Destination des boues	17
 Chapitre 2 : valorisation agricole des boues résiduaire.....	17
2.1. La valeur fertilisante et amendante.....	17
2. 2.Effet des boues résiduaires sur les propriétés physiques et chimiques du sol.....	18
2.2.1. Sur les propriétés physiques.....	18
2.2.1.1. Sur la stabilité structurale	18
2.2.1.2. Sur la porosité totale.....	18
2.2.1.3. Sur la densité apparente	19
2.2.2. Sur les propriétés chimiques	19
2.2.2.1. Sur la CEC et la teneur en éléments nutritifs	19
2.2.2.2. Sur le phosphore	20
2.2.2.3. Sur l'azote.....	20

2.2.2.4. Sur le pH du sol	20
2.2.3. Effet des boues sur les rendements agricoles	20
2.2.4. Impacts environnementaux et sanitaires	20
2.3. Législation sur l'épandage des boues	21
2.3.1. Dans les pays de l'union européenne	21
2.3.2. Aux Etats –Unis.....	21
2.3.3. En Algérie	21

Partie II: Matériels et Méthodes

1. Objectif de l'étude	23
2. Le choix du matériel	23
2.1. Le choix des parcelles	23
2.1.1. Localisation	23
2.1.2. Caractérisation des parcelles	23
2.2. Le choix des boues	25
2.2.1. Origine.....	25
3. Partie expérimentale	26
3.1. Caractérisation des boues résiduaires utilisées	26
3.1.1 .Test de décantation V_{30}	26
3.1.2 .Matière sèche	27
3.1.3 Matière volatile sèche	27
3.2. Etude de terrain	28
3.2.1. Méthode et période d'échantillonnage	28
3.3. Etude au laboratoire	29
3.3.1. Préparation et analyse des échantillons.....	29
3.3.1.1. Le séchage	29
3.3.1.2. Le tamisage	31
3.3.2. Analyses physiques	32
3.3.2.1. Densité apparente	32
3.3.2.2. Densité réelle	32
3.3.2.3. Porosité.....	33
3.3.3. Analyses chimiques	33
3.3.3.1. Mesure du pH _{eau}	33
3.3.3.2. Mesure de la conductivité	34
3.3.3.3. Dosage du calcaire total	34
3.3.3.4. Phosphore assimilable	35
4. les traitements statistiques.....	35

Partie III: Résultats et discussions

1. Caractérisation des boues étudiées	36
1.1Caractérisation des boues de l'EST.....	36
1.1.1. Matière sèche	36
1.1.2. Matière volatile sèche	37
1.1.3. Décantation V_{30}	38
2. Effet des boues sur les propriétés physiques.....	40
2.1. Effet sur la densité apparente des sols étudiés	40
2.2. Effet sur la densité réelle des sols étudiés	41
2.3. Effet sur la porosité des sols étudiés	42
3. Effet des boues sur les propriétés chimiques	43
3.1. Sur le pH des sols étudiés.....	43
3.2 Conductivité électrique	45
3.3. Calcaire total	45
3.4. Phosphore assimilable	47
4. Effet comparatif des deux types de boues étudiées.....	48
4.1. Effet comparatif des boues résiduaires sur le pH des sols amendés	48
4.2. Effet comparatif des boues résiduaires sur la conductivité électrique des sols amendé	49
4.3. Effet comparatif des boues résiduaires sur le taux de calcaire des sols amendés	49
4.4. Effet comparatif des boues résiduaires sur le phosphore assimilable des sols amendés.....	50
4.5. Effet comparatif des boues résiduaires sur la densité apparente des sols amendés	51
4.6. Effet comparatif des boues résiduaires sur la porosité des sols amendés	52
5. Discussion générale des résultats	52
Conclusion générale	54
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumés	

Introduction générale

Synthèse bibliographie

Chapitre I: Généralités sur les boues résiduaires

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 du traitement 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. Les différents types de boues

3.1. 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 1 million de tonnes de matières sèches, soit environ 5 millions de tonnes brutes (Ifen, 2001).

La quantité de boue produite croît 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

Partie I : Synthèse bibliographique

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.

3.2. 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**).

4. 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**).

4.1. Caractéristiques physiques

4.1.1. 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**).

4.1.2. L'indice des boues

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

4.1.3. 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**).

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

Partie I : Synthèse bibliographique

4.1.4. 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).

4.1.5. 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).

4.1.6. 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 (K.cal/kg de MV) (Lassée, 1985).

4.1.7. 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%

Partie I : Synthèse bibliographique

4.2. Facteurs caractérisant la structure des boues

4.2.1. 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).

4.2.2. 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 granulométrique s'effectue jusqu'à 80 µm par tamisage du matériau par voie sèche ou par voie humide (Ladjel, 2004).

4.2.3. 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).

4.3. Caractéristiques chimiques des boues

4.3.1. 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

Partie I : Synthèse bibliographique

pH en dessous de 6,5 indique un déséquilibre de la digestion. En cas de la stabilisation aérobie, le pH sera acide (**Ladjel, 2004**).

4.3.2. 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**).

4.4. Caractéristique biologique

4.4.1. 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**).

4.4.2. 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**).

Partie I : Synthèse bibliographique

4.4.3. 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**).

4.5. La composition en éléments chimiques des boues.

4.5.1. 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**).

4.5.2. 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**).

4.5.3. 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**).

4.5.4. 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 minime est rapidement assimilable (**Benmouffok, 1980**).

Partie I : Synthèse bibliographique

4.5.5. 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**).

4.5.6. 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%.

4.5.7. 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 composition des boues selon la filière de traitement des eaux résiduaires urbaines.

Partie I : Synthèse bibliographique

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	++	++	+	-	(++)(-)

5. 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**).

5.1. Objectifs

Les traitements spécifiques des eaux usées engendrent une matière organique hautement fermentescible. Les objectifs des différents traitements de cette matière secondaire sont regroupés dans le tableau ci- dessous.

Partie I : Synthèse bibliographique

Tableau 3 : Les opérations de traitement des boues et leurs objectifs (Duchene, 1990).

Opérations	Buts
Stabilisation	Réduire la fermentescibilité des boues pour atténuer ou supprimer les mauvaises odeurs
Concentration	Éliminer une partie de l'eau interstitielle afin d'éviter son transport
Stockage	Assurer une capacité tampon harmonisant les besoins d'extraction et les possibilités d'évacuation à l'extérieur
Homogénéisation	Donner au destinataire finale un produit connu et relativement constant
Conditionnement	Modifier les caractéristiques de la boue afin de faciliter la séparation des phases solides et liquide
Déshydratation	Augmenter la siccité afin de rendre le produit solide ou pâteux

5.2. Système de traitement des boues

Telle qu'elles apparaissent au cours du traitement des eaux usées, les boues d'épuration nécessitent un traitement préalable et ce dans le but de réduire leur volume et d'éviter la putréfaction des matières organiques facilement décomposables (**Brame et Lefevre, 1977**).

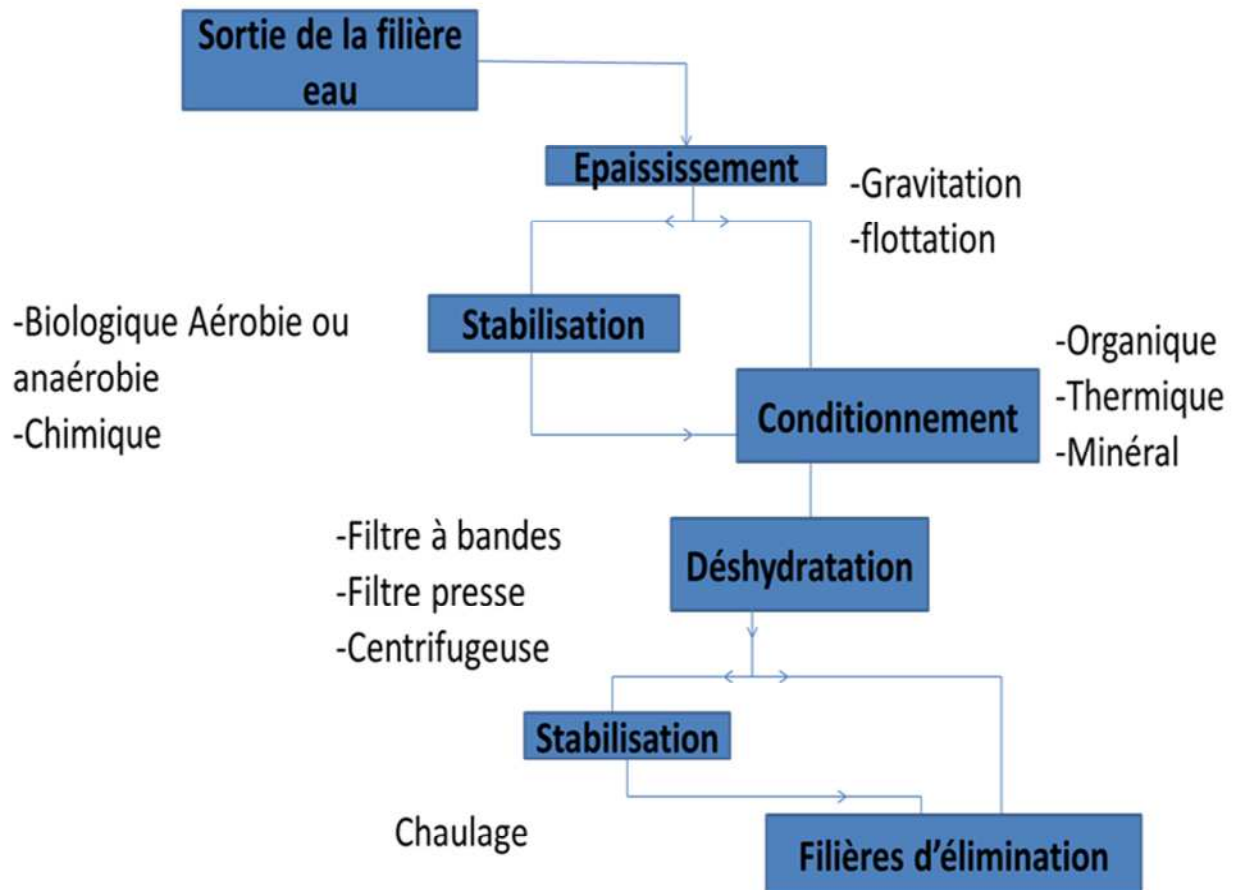


Figure 1: Représentation schématique d'une filière de traitement des boues (Baudez, 2001).

On distingue trois grands types de traitement :

5.2.1. Traitement de stabilisation

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

La notion de stabilisation renseigne sur le niveau d'odeur de la boue (absence d'odeur, ou odeur faible, moyenne, forte). A noter qu'une boue peut être traitée, tout en n'étant pas stabilisée au sens défini ci-dessus (Ministère de l'Environnement Française, 1999). Les traitements de stabilisation utilisés sont de type biologique, chimique ou thermique. Ils s'appliquent aux boues mixtes fraîches, aux boues secondaires ou à l'ensemble des boues afin de réduire leur fermentescibilité et limiter, voire annuler, les nuisances olfactives (Koller, 2004).

Partie I : Synthèse bibliographique

5.2.1.1. 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**).

5.2.1.2. 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**).

5.2.1.3. 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**).

5.2.2. Le séchage thermique

Le séchage thermique des boues revêt un effet temporaire de stabilisation (par absence d'eau), son intérêt est la réduction des volumes et des odeurs. Le séchage se fait soit par action de soleil soit celle de chaleur (**SPDE, 2006**).

Partie I : Synthèse bibliographique

5.2.2.1. Réduction de la teneur en eau des boues

Pour réduire les volumes à manipuler, différents procédés sont mis en œuvre comprenant, par ordre croissant d'efficacité de coût, d'épaississement, de déshydratation et de séchage (ADEME, 1996).

5.2.2.1.1. L'épaississement

L'épaississement des boues a pour objectif de limiter le volume de boues à transporter sur les aires de séchage, il conditionne l'état des boues à envoyer sur les lits de séchage. L'épaississement est du type gravitaire raclé à entraînement central avec les caractéristiques géométrique. Il doit comporter en permanence, une tranche d'eau en surface afin d'éviter les odeurs. Il vise à augmenter la siccité (teneur en matière sèche) des boues. Par conséquent réduire leur volume, sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue (Anred, 1988).

Les intérêts de l'épaississement sont multiples:

- A capacité égale, augmentation du temps de séjour dans les cuves de stockage des digesteurs aérobie et anaérobies.
- Amélioration de la sécurité d'exploitation, en particulier dans les installations d'eaux résiduaires urbaines, les boues des décanteurs primaires peuvent être pompées très liquide.
- Amélioration de la production des dispositifs de déshydratation, lits de séchage, filtre sous vide, filtre presse, centrifugeuse, (Degrement, 1972; Thoman, 1983).

5.2.3. La déshydratation

Il correspond en fait à une augmentation forte de siccité, modifie l'état physique des boues, celles-ci passant de l'état liquide à l'état pâteux ou solide. Après la phase d'épaississement qui a permis d'éliminer 60 à 85% d'eau et la phase de stabilisation.

Le traitement des boues est complété par la déshydrations, qui a pour but d'éliminer le maximum de l'eau résiduelle. Cette technique, conduit à l'obtention d'un déchet solide, facilement manutentionnable et de volume réduit (Nakib, 1986).

Partie I : Synthèse bibliographique

5.2.4. Les traitements d'hygiénisation

L'hygiénisation est un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans la boue. L'hygiénisation des boues ne s'impose que dans certains contextes d'utilisation agronomique. La plupart des boues épandues ne sont pas hygiénisées, la maîtrise du risque sanitaire reposant de façon satisfaisante sur l'application de règles de bonnes pratiques (**Arrêté du 8 Janvier 1998**).

6. Production et destination des boues résiduaires

6.1. Production des boues

La production de boues résiduaires dans les stations d'épuration urbaines pour les pays menant des politiques d'assainissement des eaux usées urbaines représente d'importants tonnages. En Algérie, les rejets annuels d'eaux usées sont estimés à près de deux millions de m³ provenant de station d'épuration qui produisent quelque 260000 m³ de boues par jour (**Hamichi et Benabi, 1992**). En Europe, la production annuelle est d'environ 7,7 millions tonnes et aux Etats-Unis et Canada 8,8 millions de tonnes (**Mugnir, 1999**).

6.2. Destination des boues

Les éliminations finales des boues de station d'épuration sont, la mise en décharge, l'incinération et la valorisation agricole.

6.2.1. La mise en décharge

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec des ordures ménagères). Les boues doivent être préalablement stabilisées et déshydratées avec une humidité maximale de 70% (**Lasse, 1985**).

6.2.2. Incinération

Les boues seules ne sont pas auto combustibles, elles nécessitent des fours spéciaux et un mélange avec d'autres déchets tels les déchets ménagers. L'élimination des cendres et des mâchefers exigent une décharge contrôlée de classe 1. Cette technique reste aussi néfaste de point de vue écologique et environnemental puisqu'elle contribue en plus du gaspillage de matières organiques utiles pour le sol à la diffusion de gaz très toxiques (NO, CO, SO, dioxine,

Partie I : Synthèse bibliographique

etc.) qui ont fait l'objet de réglementations spécifiques (**Mininni G; Sbrilli A; Guerriero E; Rotatori M, 2004**).

6.2.3. Valorisation agricole

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 M.O nécessaire au sol, de plus, Les boues représentent un fertilisant peu onéreux, qui permet à l'agriculteur de réduire ses charges en engrais et fertilisant classiques. Quelque soit sa forme (boues liquides, pâteuses, solides ou sèches), la valorisation agricole doit être précédée d'une enquête préalable et s'entourant de tous les précautions scientifiques, techniques et réglementaires (**Collection OTV, 1997**).

Partie I : Synthèse bibliographique

Chapitre 2 : Valorisation agricole des boues résiduaires

2.1. La valeur fertilisante et amendante

Les boues des stations d'épurations sont constituées de particules minérale (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 4 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 4 : 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

2. 2. Effet des boues résiduaire sur les propriétés physiques et chimiques du sol

2.2.1. Sur les propriétés physiques

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**).

2.2.1.1. 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 résiduaire améliore la stabilité structurale du sol (**Garcia et al.,2005 ; Metzger et al., 1985**).

2.2.1.2. 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**).

2.2.1.3. 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 en 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.

2.2.2. Sur les propriétés chimiques

Beaucoup de travaux ont porté sur l'effet des boues résiduaires sur les propriétés chimiques des sols. L'effet sur la diminution de pH et l'augmentation de la CEC est montré par Cecil Lue Hing (1995) et sur l'augmentation de la réserve en éléments chimiques surtout (azote et phosphore), par Hussein *et al.* (2010).

2.2.2.1. La CEC et la teneur en éléments nutritifs

La CEC est déterminée comme le degré ou la possibilité d'un substrat de stocker des éléments nutritifs (Duchaufour, 1977). Les éléments chimiques sont une réserve minérale pour la plante d'où l'intérêt d'utiliser en culture hors sol un substrat ayant une CEC élevée, qui pourra ainsi mettre à la disposition de la plante les éléments nutritifs au fur et à mesure de ses besoins notamment, tant que l'on ne connaîtra pas parfaitement les rythmes d'absorption des éléments minéraux. On peut dire qu'un matériau est chimiquement actif si sa CEC est supérieure à 100 meq /L (Faucard, 1994). En effet, l'apport de boues résiduaires aux sols améliorent beaucoup leur CEC (Cecil Lue Hing *et al.*, 1995).

Partie I : Synthèse bibliographique

2.2.2.2. Le phosphore

Le phosphore dissous dans la solution du sol et le phosphore adsorbé sur le complexe adsorbant, constituent la réserve rapidement assimilable par la plante (**Soltner, 2000; et Johon, et Jacobsen ,2001**). Cette forme de phosphore augmente suite à un apport de boues résiduaires (**Legret M., 1984, Hussein Kh. Ahmed et al, 2010**).

2.2.2.3. L'azote

La nature et la teneur de l'azote varient beaucoup avec le type de boues (origine et mode de traitement). Cet azote se trouve sous la forme organique et sous la forme ammoniacale.

Les proportions varient avec le mode de traitement. Selon (**Benmouffok, 1994**), un apport de boue contribue de manière efficace à la nutrition minérale des plantes, notamment en azote. Ainsi un accroissement des concentrations en azote dans les tissus du Ray-grass cultivé sur sol amendé avec boues résiduaires l'a confirmé (**Guiraud G, 1977**).

2.2.2.4. Le pH du sol

L'apport de boues au sol entraîne une diminution de pH (**Cecil Lue Hing, 1995**)

2.2.3. Effet des boues sur les rendements agricoles

Les actions positives sur la croissance et le rendement sont dues selon (**Pommel, 1979**), est une meilleure mise à disposition des éléments nutritifs, la correction d'une carence en oligo-éléments et un apport supplémentaire d'eau dans le cas des boues liquides. Les boues résiduaires peuvent être assimilées aux amendements organiques, puisqu'elles contiennent une teneur élevée en matière organique. Les éléments principaux que celles-ci contiennent sont le phosphore et l'azote. Il n'est donc pas aberrant d'envisager leur utilisation en agriculture comme amendement organique et minéral. Si l'on considère comparativement les boues d'un grand nombre de stations d'épuration, on constate une fluctuation importante en éléments fertilisants, selon le procédé de traitement utilisé, l'origine des eaux et le conditionnement.

2.2.4. 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**).

Partie I : Synthèse bibliographique

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**).

2.3. Législation de l'épandage des boues

2.3.1. 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 5).

2.3.2. 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».

2.3.3. 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

Partie I : Synthèse bibliographique

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 classe 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 5: 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

Matériél et méthode

1. Objectif de l'étude

L'objectif de notre travail est la contribution à l'étude de l'effet d'épandage des boues résiduelles produite au niveau de la station Est d'épuration, des eaux usées et celle de Boukhalfa sur les propriétés physiques et chimiques des sols agricoles de Boukhalfa et Tadmait dans la wilaya de Tizi-Ouzou.

2. Le choix du matériel

2.1. Le choix des parcelles

Afin de réaliser notre étude, notre choix est limité à deux parcelles qui se localisent à proximité et amendées avec deux types de boues produites par deux stations différentes, à savoir la Step Est et la Step de Boukhalfa (wilaya de Tizi-Ouzou), afin de pouvoir comparer entre l'effet des deux types de boues et ce dans un but de valorisation de ces dernières.

- ❖ Une parcelle viticole, localisée dans la commune de Tadmait et appartenant au domaine Benchakal, dont une moitié est amendée et l'autre non amendée avec les boues résiduelles de la Step Est de Tizi-Ouzou.
- ❖ Une autre parcelle agrumicole, localisée dans la commune de Boukhalfa, et appartenant au domaine Oumellil, dont une moitié est amendée et l'autre non amendée avec des boues résiduelles de la Step de Boukhalfa.

2.1.1. Localisation

La localisation des parcelles étudiées est illustrée par les figures, 2 et 3.

2.1.2. Caractérisation des parcelles

Les caractéristiques des parcelles étudiées sont regroupées dans les tableaux suivants :



**Figure2 : Image satellite de la parcelle Benchakal Kamel de Tadmaït
(Google Earth 2016).**



**Figure 3: Image satellite de la parcelle Oumellil de Boukhalfa
(Google Earth 2016).**

Tableau 6 : Les paramètres de la parcelle du domaine Benchakal de Tadmaït

Paramètres	
Topographies	Plat
Coordonnées Lambert	X : 36°45'44.21"N Y : 3°53'31.44"E
Superficie	1ha
Type de culture	Vigne de table
Apport d'engrais	Boues
Doses apportées	Façon empirique
Année d'apport	2013
Autres apports	Fumier

Tableau 7: Les paramètres de la parcelle du domaine Oumellil de Boukhalfa

Paramètres	Parcelle Oumellil
Topographies	Plat
Coordonnées Lambert	X : 36°44'56.77"N Y : 4° 0'33.08"E
Superficie	5ha
Type de culture	Orangers
Apport d'engrais	Boues
Doses apportées	Façon empirique
Année d'apport	2015
Autres apports	Fumier

2.2. Le choix des boues

Le choix est basé sur la composition chimique des boues et l'autorisation de l'ONA de leur épandage sur les sols agricoles.

2.2.1. Origine

Les boues résiduelles ayant fait l'objet de notre étude provient de la :

- ❖ Station d'épuration d'Est de la wilaya de Tizi-Ouzou.
- ❖ Station d'épuration de Boukhalfa de la wilaya de Tizi-Ouzou.

3. Partie expérimentale

3.1. Caractérisation des boues résiduaires utilisées

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 de Tizi-Ouzou à savoir : le test de décantation, matières volatiles sèches et les matières sèches.

3.1.1. Test de décantation V_{30}

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. Au niveau du bassin d'aération on prélève une quantité de boue, on remplit une éprouvette de 1000 ml de cet échantillon et on laisse décanter pendant 30 mn. Une fois les 30 mn écoulées on note le volume décanté, le V_{30} doit être inférieure à 300 ml. Dans le cas contraire, on effectue des dilutions en utilisant l'eau épurée jusqu'à obtenir un $V_{30} < 300$ ml.

L'indice de boue est calculé comme suite :

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



Figure 4 : Photo illustrant le test de décantation V_{30}

3.1.2. Matières sèches

La concentration en matière sèche permet de connaître la quantité de boue, quelque soit son niveau de concentration dans sa filière de traitement on l'obtient par une déshydratation. On prend un papier filtre et le pèse (P_0), on place un entonnoir sur un bécher et on place dessus le papier filtre, on verse une quantité de boue dans ce dispositif, après filtration, on met le papier filtre dans une coupelle en aluminium qu'on va placer dans une étuve à 105°C jusqu'à déshydratation et après cela on place ce filtre dans un dessiccateur et puis on refait la pesée (P_1).

On calcule la concentration de MES en utilisant la formule ci-dessous :

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



Figure 5 : Photo illustrant la détermination de la matière sèche

3.1.3. Matières volatiles sèches MVS

Le contrôle de ce paramètre permet de connaître la stabilité de la boue et son aptitude à divers traitement (déshydratation, incinération). On met une quantité de boue dans une coupelle de poids P_0 , on la place dans une étuve à 105°C jusqu'à évaporation totale en l'eau, après on pèse la coupelle P_2 , on met la coupelle dans un four à moufle 550°C pendant 2 heures et après refroidissement on pèse P_3 .

On calcule la concentration des MVS selon la formule suivante:

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



Figure 6 : Photos illustrant la détermination des matières volatiles sèches

3.2. Etude de terrain

3.2.1. Méthode et période d'échantillonnage

L'échantillonnage du sol a été effectué au mois de Mai 2016, portant sur 2 parcelles localisées dans deux communes Tadmait et Boukhalfa de la wilaya de Tizi-Ouzou. On a observé le terrain avec la collaboration des agriculteurs.

Pour obtenir nos échantillons on a suivi les étapes suivantes :

- 1- Choix des points d'échantillonnage
- 2- Préparation la surface des points d'échantillonnage (désherbage manuel).
- 3- Prélèvement des échantillons avec une tarière pédologique et à trois niveaux de profondeur.



Figure 7 : Prélèvement d'échantillons avec une tarière

- ❖ Lieu-dit domaine de Benchakal à Tademaït, l'étude est portée sur une parcelle du vignoble (figure8) avec une charge caillouteuse très importante et de texture argileuse (Ouali, 2014).
- ❖ Lieu-dit domaine Oumellil à Boukhalfa, l'étude est portée sur une parcelle d'agrumes (figure 9), caractérisée par une charge de caillouteuse très importante et une texture sableuse (Ouali, 2014).

La répartition des unités d'échantillonnages dans notre zone de prélèvement a été faite en diagonale, trois points d'échantillonnage dans chaque parcelle avec trois prélèvements à différent niveau de profondeurs (0-20 cm, 20-30 cm, 30-45 cm).

3.3. Etude au laboratoire

3.3.1. Préparation et analyse des échantillons

Les échantillons prélevés sont transportés au laboratoire où ils ont subi : le séchage, broyage et tamisage (voir figure10).

3.3.1.1. Le séchage: étalement des échantillons du sol sur du papier journal séparément (chaque horizon sur une feuille, espacées entre eux, pour éviter toute contamination, fragmentés à la main et homogénéisés et laissés sécher à l'air pendant un temps nécessaire.



Figure 8 : Photo représentative de la parcelle du domaine Benchakal Kamel



Figure 9 : Photo représentative de la parcelle du domaine Oumellil



Figure 10: Séchage des échantillons à l'air libre au laboratoire

3.3.1.2. Le tamisage

Une quantité de sol a subi un tamisage au tamis 2mm, pour faire l'objet de quelques analyses physiques et chimiques. Ils sont par la suite, conservés dans des sachets en plastique et étiquetés, par contre, une autre partie est laissée sans tamisage pour faire l'objet de quelques analyses physiques.

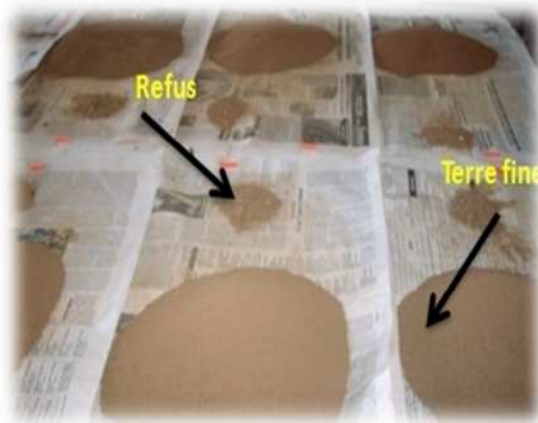


Figure 11 : Photo représentant les deux fractions du sol après tamisage

Ces opérations ont permis l'obtention de 36 échantillons pour les deux parcelles (deux amendées, deux non amendées, à raison de 18 échantillons par parcelle), étiquetés par parcelle et par profondeur, lesquels feront l'objet d'analyses physiques et chimiques.

3.3.2. Analyses physiques

3.3.2.1. Densité apparente

Déterminée par la méthode du cylindre (figure 12), cette technique consiste à prélever du sol de volume connu dont on déterminera le poids de la masse sèche et puis calculer la densité apparente selon la loi suivante :

$$D_a = (M/V)$$

M : poids du sol sec (en g)

V : volume de cylindre



Figure 12 : prélèvement des échantillons à l'aide d'un cylindre

3.3.2.2. Densité réelle

Pour mesurer la densité réelle, on applique la méthode du pycnomètre à l'eau; celle-ci consiste à déterminer le volume d'eau déplacé par une masse connue d'un échantillon de sol dans un volume connu. Comme nous ne disposons pas de pycnomètres, nous avons utilisé à la place des fioles de 100ml.



Figure 13 : Mesure la densité réelle avec les fioles

3.3.2.3. Porosité totale

C'est le volume des espaces lacunaires par rapport au volume total du sol, elle est exprimée en pourcent (%) du volume apparent total. La porosité totale P est donnée par la formule :

$$P_t(\%) = (D_r - D_a) / D_r \times 100$$

Où:

D_r : densité réelle

D_a : densité apparente

3.3.3. Analyses chimiques

3.3.3.1. Mesure du pH eau

Le pH eau est une des caractéristiques fondamentales d'un sol amendé par des boues, il donne une indication de l'acidité d'une substance.



Figure 14 : Le pH-mètre

3.3.3.2. Mesure de la Conductivité

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présents dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité. La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre et calculée en appliquant par la formule suivante :

$$CE = (\text{lecture} * \text{la constante de la cellule} * \text{chiffre de correction})$$



Figure 15: conductivimètre

3.3.3.3. Dosage du calcaire total

La quantité de calcaire dans le sol sous forme de carbonates, de calcium est dosée par la méthode dite volumétrique ou gazométrique. Dans notre cas, nous avons utilisé la méthode

volumétrique, qui consiste d'abord en une attaque de carbonates de calcium par de l'acide chlorhydrique, l'excès d'acide est titré par de la soude (1N).

Le calcaire total sera calculé par la formule suivante :

$$\text{Calcaire total (\%)} = (\text{Témoin} - \text{lecture}) * 12,5$$

3.3.3.4. Phosphore assimilable

Les mesures du phosphore des différentes solutions du sol ont été faite par le spectrophotomètre et selon la méthode Olsen, cette méthode permet de déterminer le phosphore alcano-soluble extrait par (NaHCO₃) (0,5) à pH ajusté à 8,5. Le dosage est basé sur la formation d'un complexe de l'acide phosphorique et l'acide molybdique. Dans un milieu où il y a le phosphore, l'addition de l'acide ascorbique provoque par chauffage une coloration bleue dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en orthophosphates, puis passage au spectrophotomètre visible à une longueur d'onde de 660nm après étalonnage de l'appareil.

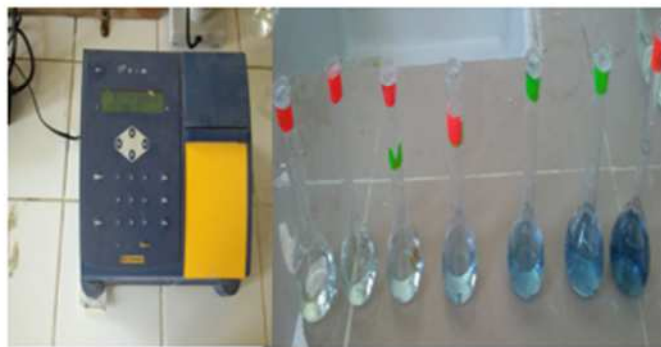


Figure 17: photo représentative du spectrophotomètre et de la gamme d'étalonnage

4. Les traitements statistiques

Pour mieux interpréter les résultats, nous avons recourt au logiciel R pour une analyse de la variance à un seul facteur de comparaison.

Résultats et discussion

1. Caractérisation des boues étudiées

1.1. Caractérisation des boues de l'Est

Les boues résiduelles utilisées dans l'expérimentation, issues à partir d'un processus de traitements à boues activées à la station Est et de Boukhalfa de Tizi-Ouzou, sont séchées à l'air libre pendant six mois.

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. Le calcul de MS se fait selon la formule suivante :

$$MS = (P_1 - P_0) \times 10$$

Avec :

P_0 : poids des coupelles vides

P_1 : poids des (coupelles + échantillon) après le premier séchage dans l'étuve à 105°C.

Les résultats d'analyse de la matière sèche enregistrée et illustré par la figure 18, montre qu' à l'entrée du bassin d'aération 1 et 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.

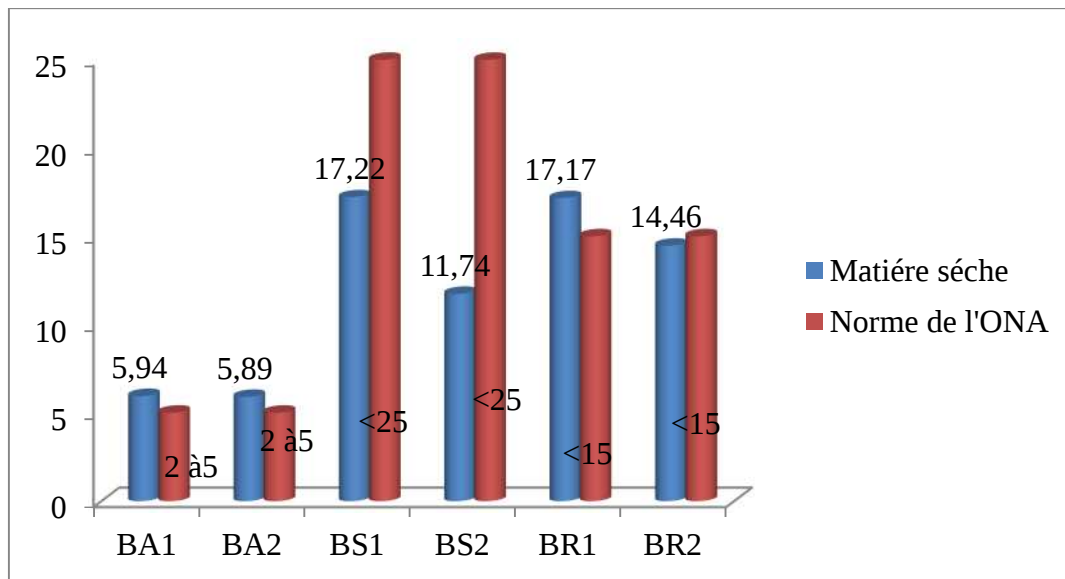


Figure 18: Représentation des teneurs en matière sèches des boues de la step Est

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 traitements (digestion, incinération...). Le calcul de MVS se fait selon la formule suivante :

$$MVS = \frac{P_2 - P_3}{P_2 - P_0} \times 100$$

Sachant que :

P_0 : poids des coupelles vides

P_2 : poids des (coupelles + échantillon) après le premier séchage dans l'étuve à 105°C.

P_3 : poids des (coupelles + échantillon) après le second séchage dans un four de 550°C.

- 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.

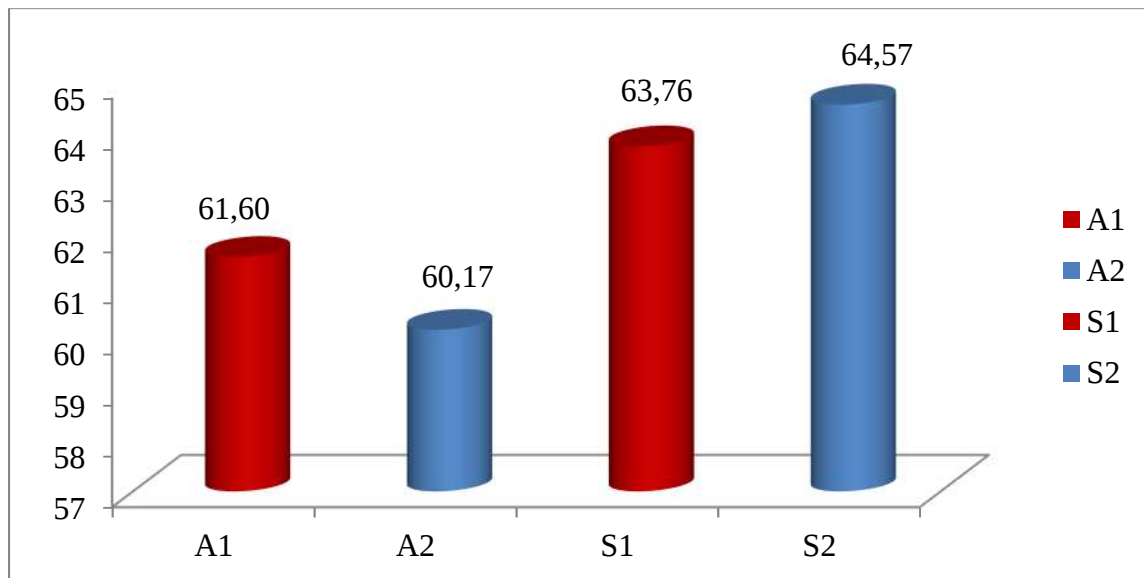


Figure 19: Représentation des matières volatiles sèches de la boue de la step Est

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 (mm) de volume de boue activée décantée en 30 mn par apport à la masse de résidu sec de cette boue (en gramme de matières).

$$I_n = \frac{V_{30D} \times 4}{MS}$$

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

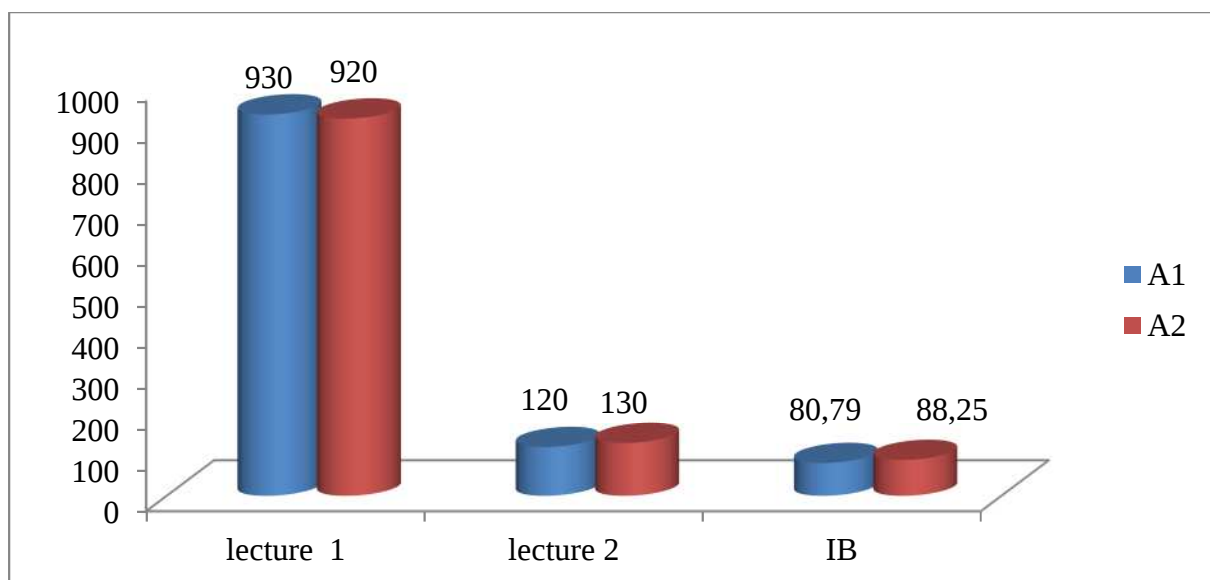


Figure 20: Représentation des résultats de la décantation des boues du prélèvement

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. Effet des boues sur les propriétés physiques

2.1. Effet sur la densité apparente des sols étudiés

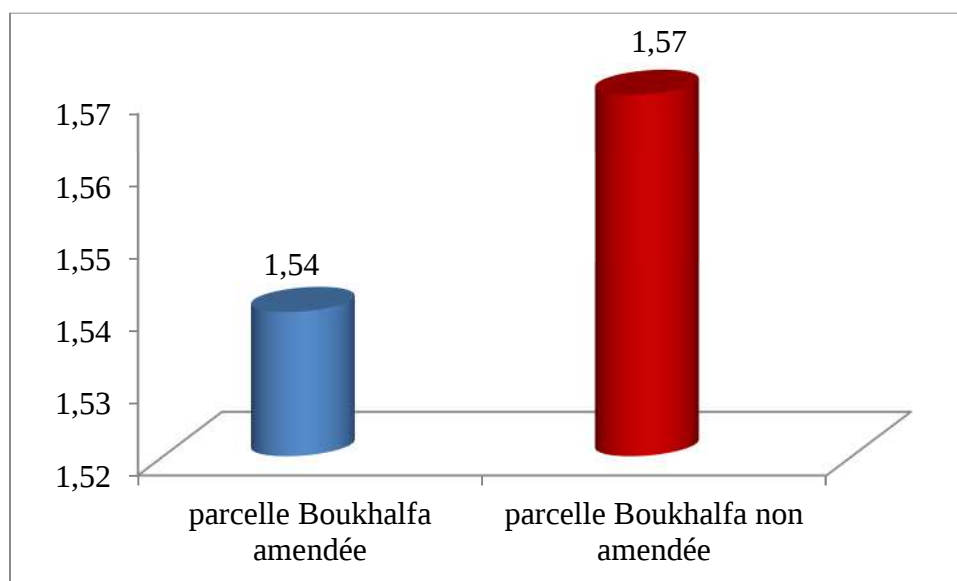


Figure 21 : les valeurs moyennent de la densité apparente des sols de la parcelle de Boukhalfa

L'analyse des résultats de densité apparentes des sols étudiés (figure21), montre que ce paramètre n'est pas influencé par l'apport de boues résiduelles et ce en comparant les traités aux témoins de chaque horizon.

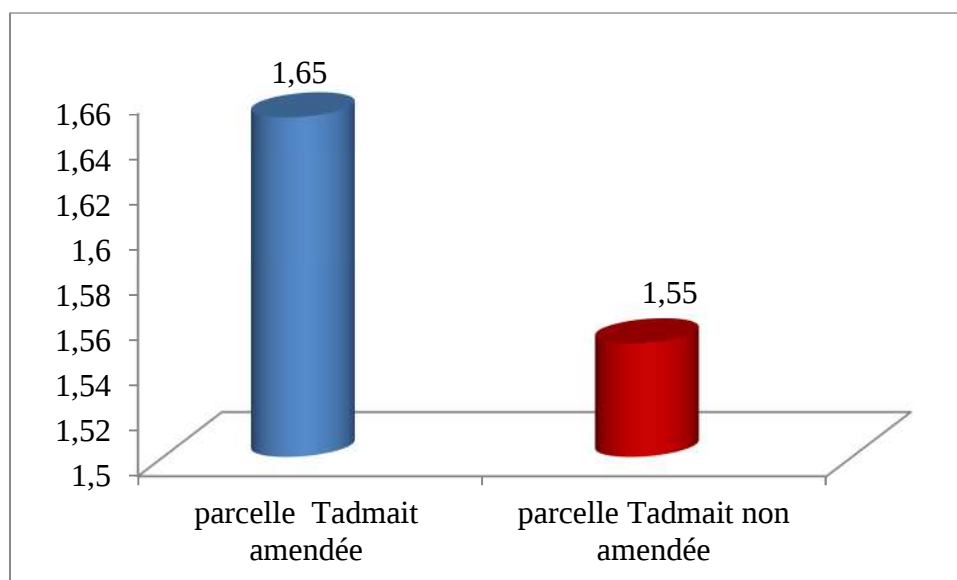


Figure 22: les valeurs moyennes de la densité apparente des sols de la parcelle de Tadmait

L'analyse des résultats illustrés par les figures 21 et 22, montre que les parcelles amendées de Boukhalfa et Tadmaït présentent respectivement des valeurs moyennes moins élevées pour les prélèvements P1H1 au niveau de 0-20 cm avec (1,54 g/cm³ et 1,65) pour les parcelles amendées et (1,57 g/cm³ et 1,55 g/cm³) pour les parcelles non amendées.

2.2. Effet sur la densité réelle des sols étudiés

La densité réelle exprime le volume d'eau dans le sol qui est un paramètre important dans le comportement et l'évolution du sol, généralement cette densité a pour but de déterminer la porosité qui résulte en fait de l'assemblage initial des constituants et elle correspond aux voies de circulations et de stockages des éléments.

Tableau 8: les valeurs moyennes de la densité réelle des parcelles étudiées

		Amendée			Non Amendée		
parcelle de Boukhalfa		2,83	2,96	2,83	2,61	2,7	2,43
Parcelle de Tadmaït		2,8	2,12	2,29	2,71	2,43	2,26

2.3. Effet sur la porosité totale des sols étudiés

Concernant cette propriété physique, on constate une augmentation pour les sols amendés par des boues résiduaires avec des valeurs moyennes respectivement de 45,4 et 38,6% pour les parcelles Boukhalfa et Tadmaït par rapport aux non amendés où les valeurs moyennes sont respectivement de 36,85 et 38,32% pour les parcelles Boukhalfa et Tadmaït.

Cette augmentation due à l'apport de boues sur ces parcelles qui a un effet positif.

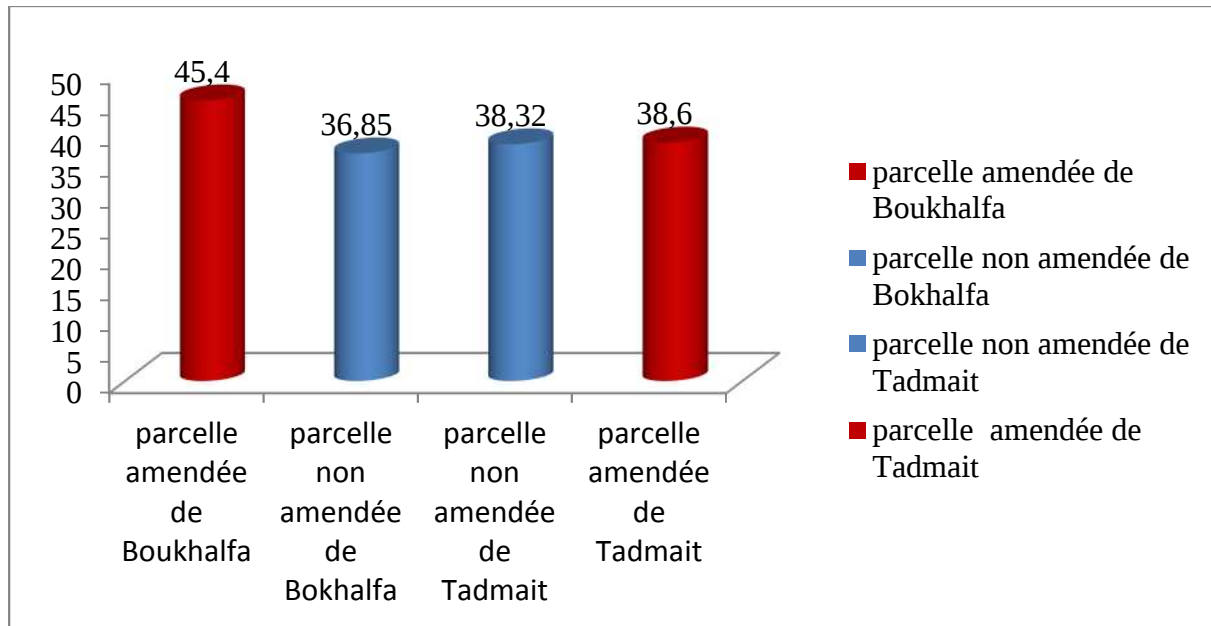


Figure 23: valeurs moyenne de la porosité des parcelles étudiées

3. Effet des boues sur les propriétés chimiques

3.1. Sur le pH des sols étudiés

Le pH est une propriété chimique essentielle qui détermine l'absorption des éléments chimiques dans le sol, mais aussi le comportement des être vivant (microflore, végétation).

Les résultats des valeurs moyennes de la mesure du pH_{eau} des sols des parcelles étudiées (amendée et non amendée) regroupés et illustré par les figures (24, 25, 26 et 27), montrent que le pH est moyennement alcalin.

La comparaison des valeurs moyennes montre que pour la parcelle non amendée, le pH_{eau} augmente de la surface vers la profondeur de 7,83 à 7,96 pour la parcelle de Boukhalfa, de même pour la parcelle de Tademaït où il augmente de 7,98 à 8,08. En revanche, pour les parcelles amendées de Boukhalfa et de Tademaït, le pH augmente de la surface vers la profondeur avec respectivement 7,89 à 7,99 et 7,96 à 8,03. Ces valeurs indiquent que l'évolution du pH dans les sols amendés et non amendés est fluctuante, mais toutes tendent à l'alcalinisation. L'application des boues n'a pas montré un grand changement pour le paramètre du pH.

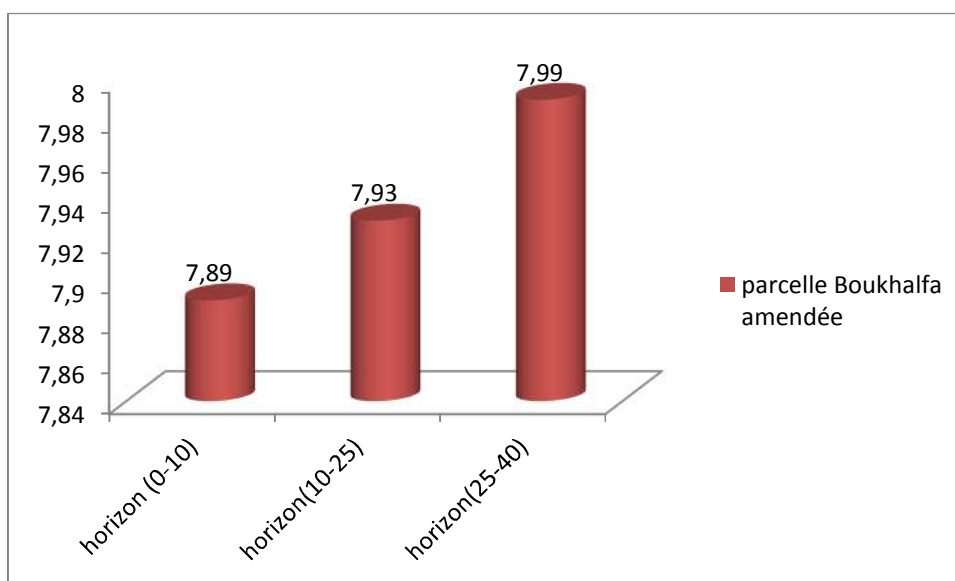


Figure 24: Evaluations des moyennes de pH_{eau} des parcelles Boukhalfa amendées en fonction des profondeurs

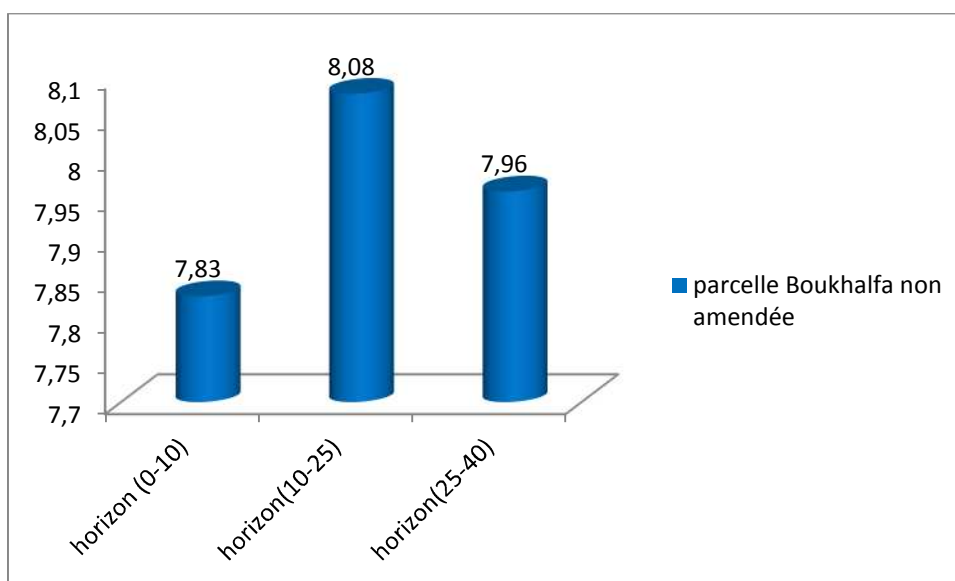


Figure 25: Evaluations des moyennes de pH_{eau} des parcelles Boukhalfa non amendées en fonction des profondeurs

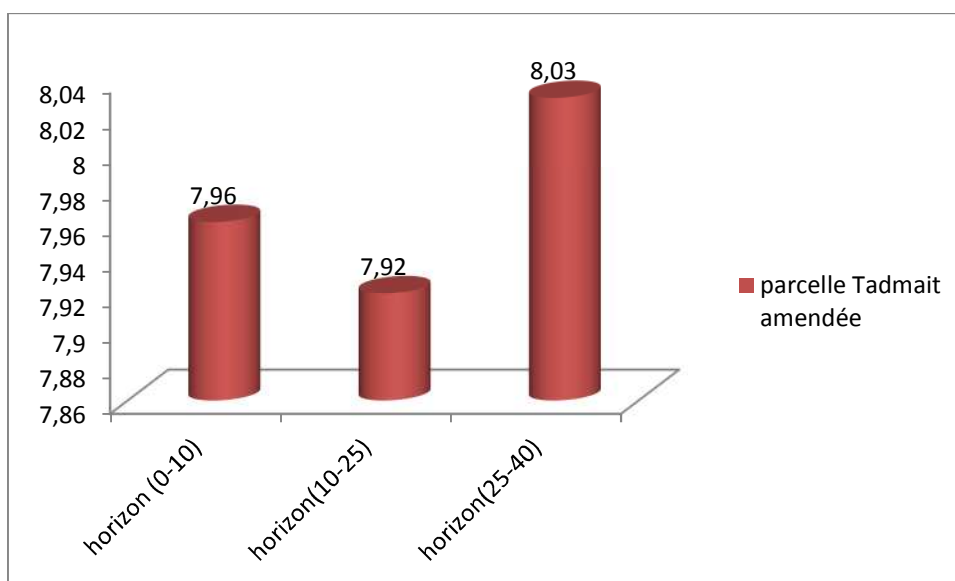


Figure 26: Evaluations des moyennes de pH_{eau} des parcelles Tadmaït amendées en fonction des profondeurs

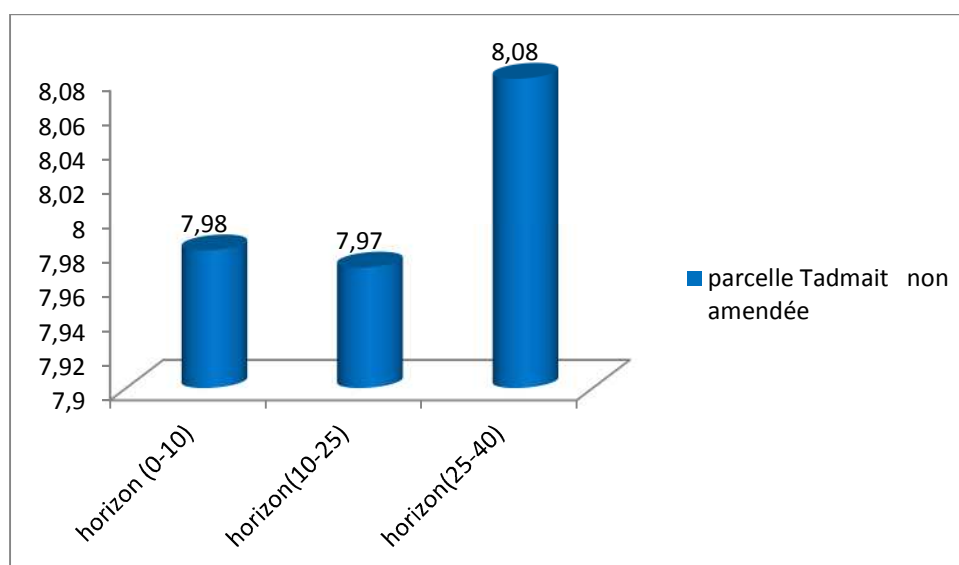


Figure 27: Evaluations des moyennes de pH_{eau} des parcelles Tadmaït non amendées en fonction des profondeurs

3.2. Conductivité électrique (CE)

Cette mesure physico-chimique nous donne une idée sur la concentration des électrolytes dans la solution du sol d'une part et du degré désalinisation des sols d'autres part.

Sur la base de données affichée et illustrée par les figures 28 et 29, la conductivité de l'extrait aqueux rapport (1/5) des parcelles amendées par les boues résiduaires est de près de 0,003 et 0,002 ms/cm respectivement des parcelles amendées de Tademaït et Boukhalfa, ces valeurs permettent d'obtenir rapidement une estimation élevée de la teneur globale en sels soluble.

Par contre les non amendées les résultats est de même. Les résultats moyens de la conductivité électrique montrent que les sols étudiés ne sont pas salin et que les apports de boues résiduaires ne présentent pas de risques de salinisation et de stérilisation des sols cela dû à l'insuffisance de l'apport de la boue, soit que l'épandage de boue résiduaire n'est pas homogène.

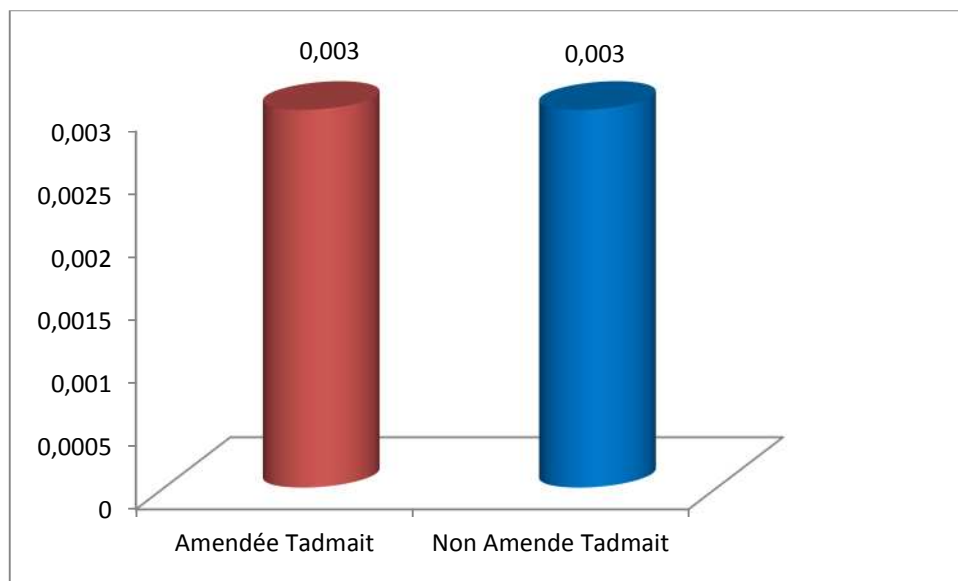


Figure 28: Résultat de la moyenne de la conductivité des parcelles étudiées de Tadmaït

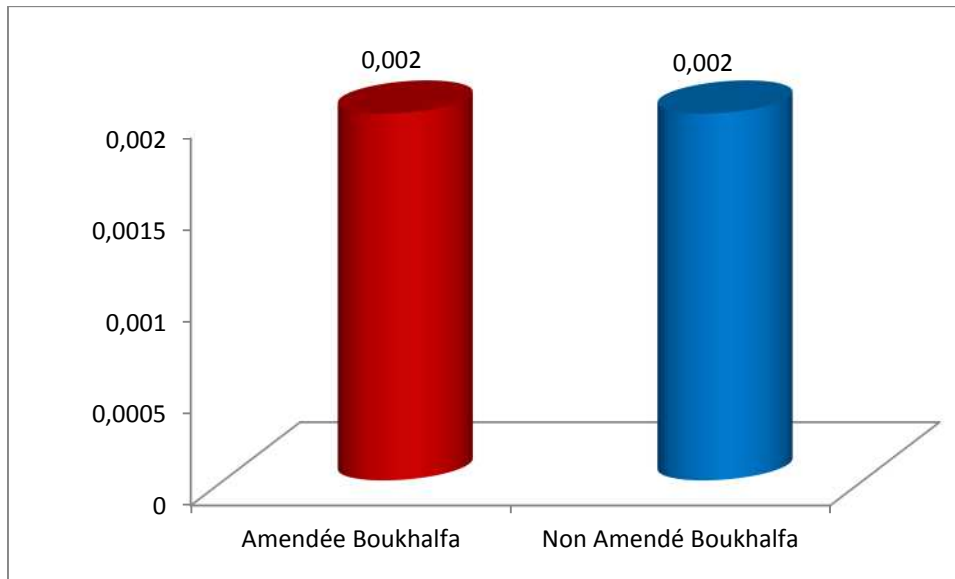


Figure 29: Résultat de la moyenne de la conductivité des parcelles étudiées de Boukhalfa

3.3. Calcaire total

Sur la base des données regroupées et illustrées par les figures (30, 31, 32 et 33), les taux moyens en calcaires total des parcelles amendées avec les boues sont élevés par rapport à ceux des parcelles non amendées. Les taux les plus importants sont retrouvés à la profondeur 25-40 cm pour les parcelles amendées de Boukhalfa et Tademaït respectivement avec 12,91 et 26,25 %, par contre pour les parcelles non amendées, ils sont de 6,66 à 26,52%. Nous pouvons conclure sur la base de ces résultats, que les sols des parcelles de Boukhalfa sont calcaires, par contre ceux de Tadmaït, ils sont fortement calcaires.

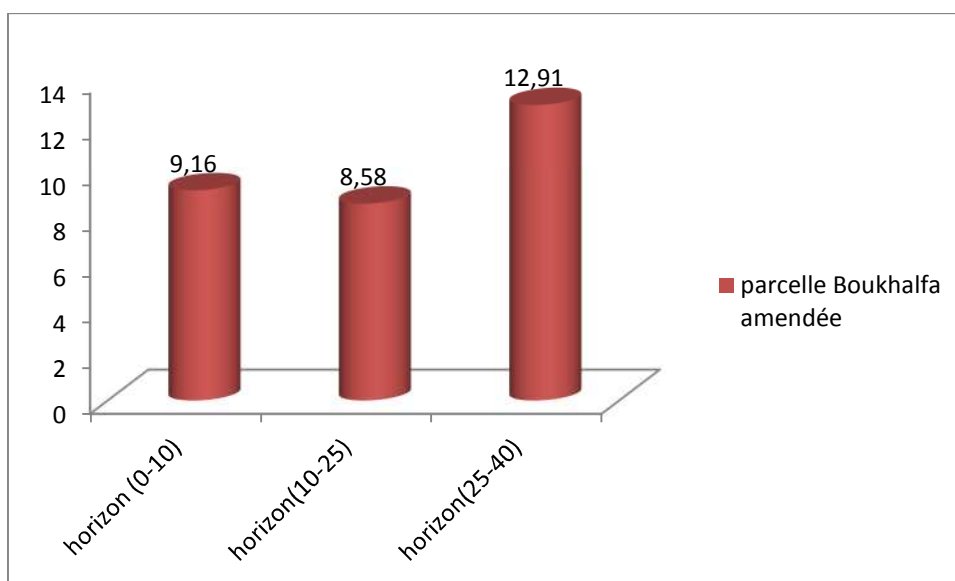


Figure 30: Taux moyenne en calcaire total des parcelles amendées de Boukhalfa

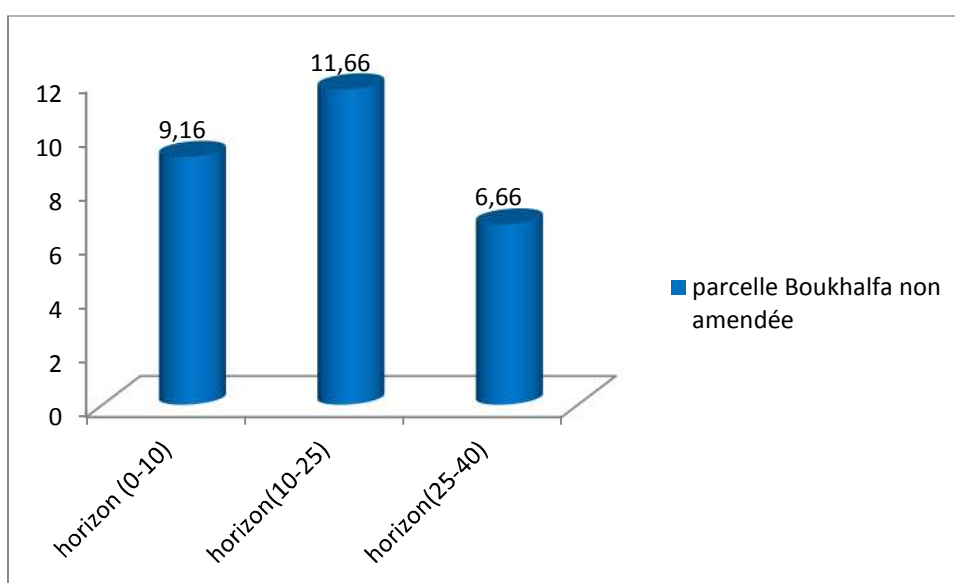


Figure 31: Taux moyenne en calcaire total des parcelles non amendées de Boukhalfa

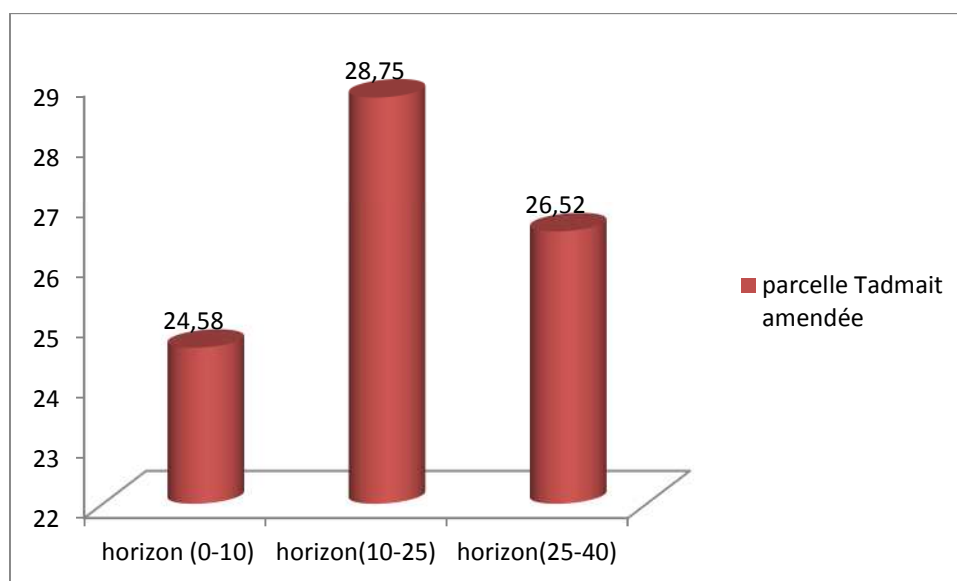


Figure32 : Taux moyenne en calcaire total des parcelles amendées de Tadmaït

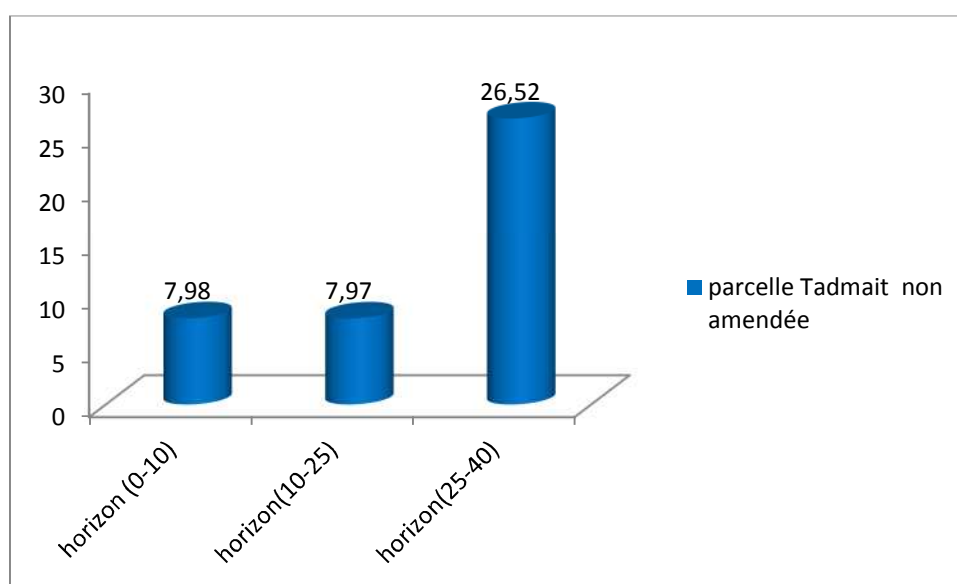


Figure 33: Taux moyenne en calcaire total des parcelles non amendées de Tadmaït.

3.4. Phosphore assimilable

Les résultats d'analyse relative à la détermination des teneurs en phosphore assimilable des échantillons des sols sont illustrés par les figures34 et 35. Globalement les

teneurs en phosphore assimilable sont plus élevées dans les sols des parcelles amendées par rapport à ceux de celles non amendées. Cette différence est due à l'apport des boues.

Les résultats obtenus dans la couche superficielle des sols étudiés montrent une augmentation des teneurs en P assimilable dans les sols amendés avec les boues dont les valeurs est de 20,18ppm et 8,75ppm respectivement pour les sols de la parcelle de Tadmaït et Boukhalifa par rapport à ceux des témoins qui sont respectivement et de 11,42 ppm et de 7,27ppm. L'application de l'ANOVA à un facteur montre que l'effet des deux boues est significatif sur l'augmentation des teneurs en phosphore assimilable.

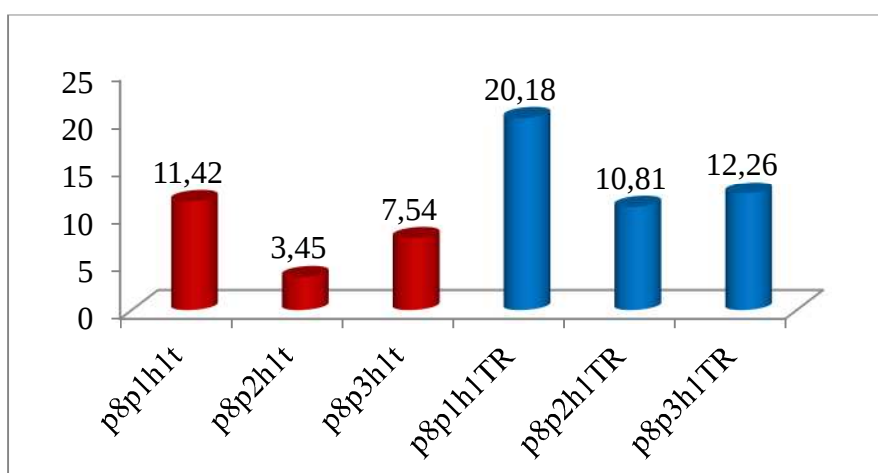


Figure 34 : Teneurs en P assimilable des sols de la parcelle de Tadmaït.

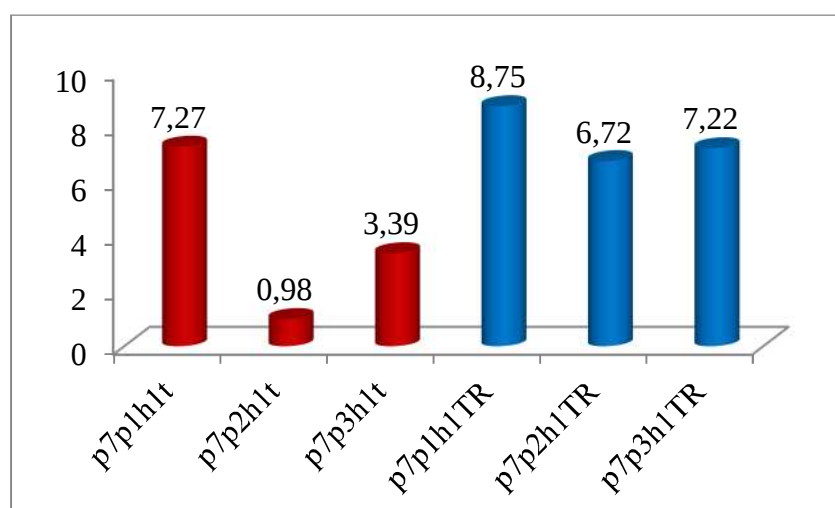


Figure 35 : Teneurs en P assimilable des sols de la parcelle de Boukhalifa

Quant aux teneurs en phosphore assimilable des sols, les résultats obtenus dans la couche superficielle des sols étudiés montrent une augmentation dans ceux amendés avec les boues dont la moyenne est de 14,41ppm pour les sols de la parcelle de Tadmaït et 7,56 ppm pour

ceux de la parcelle de Boukhalfa et par rapport à ceux des témoins qui sont respectivement et de 7,47 ppm et de 3,88 ppm .Ces résultats sont conformes à ceux de **Hussein kh. Ahmed et al**

.(2010) et Ait ouazzou (2015).

4. Effet comparatif des deux types de boues étudiées

4.1. Effet comparatif des boues résiduelles sur le pH des sols amendés et non amendés

Les résultats enregistrés et illustrés par la figure 36, montre que le pH de nos parcelles étudiée est faiblement alcalin, il varie de 7,96 à 7,94 respectivement pour les parcelles amendées et 7.85à 8.01 pour les parcelles non amendées par les boues de Boukhalfa et Tademaït .On constate que les boues de la step Est influence plus sur le pH que celle de la Step de Boukhalfa.

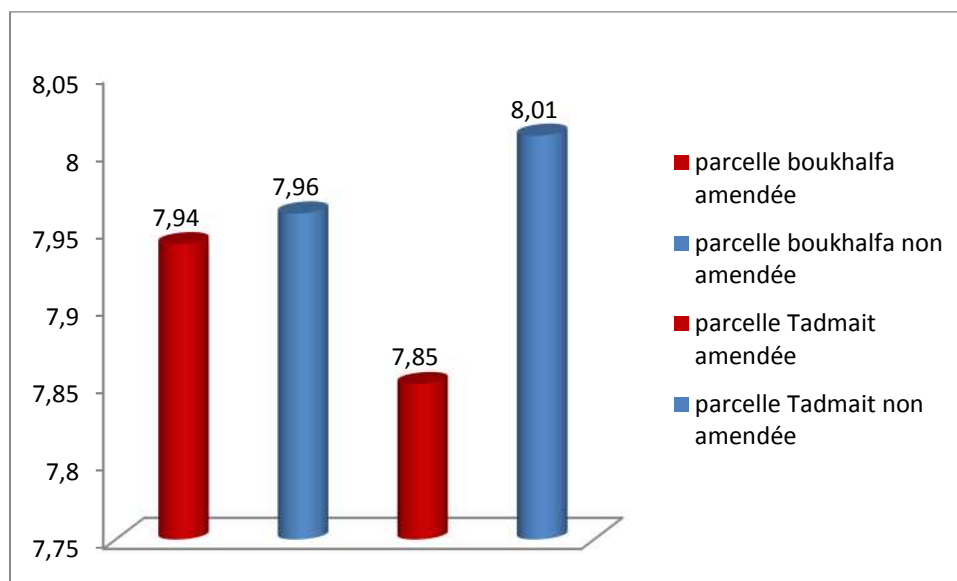


Figure 36: Résultat de la moyenne du pH des parcelles amendées et non amendées

4.2.Effet comparatif des boues résiduelles sur la conductivité électrique des sols amendés et non amendes

Les moyennes calculées ne montrent aucune différence de la conductivité électrique sous l'effet de la boue de la Step Est et de celle de Boukhalfa.

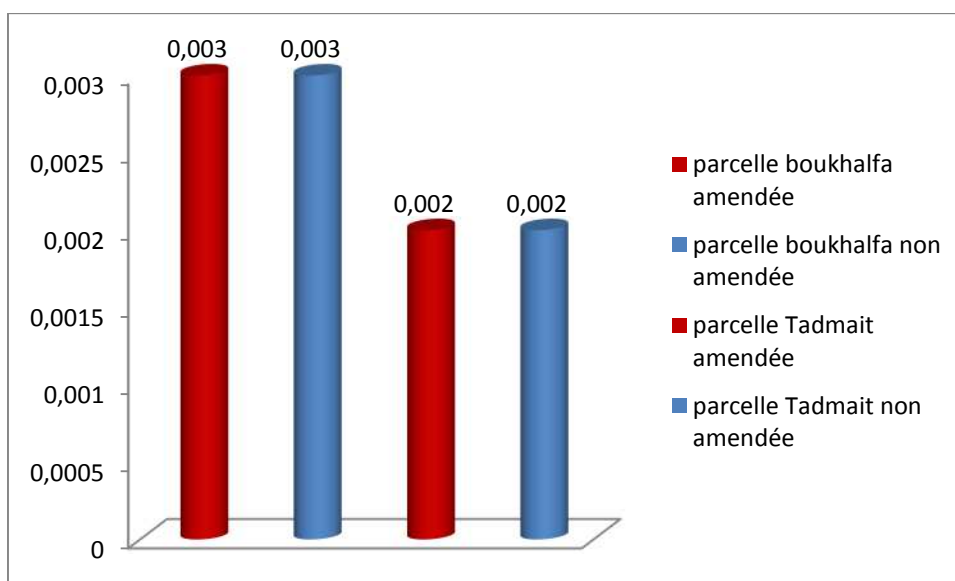


Figure 37: la moyenne de la conductivité électrique des sols des parcelles amendées et non amendées

4.3. Effet comparatif des boues résiduelles sur le taux de calcaire des sols amendés et non aendés

Les résultats relatifs à la moyenne des sols des parcelles amendées, montrent que les apports des boues résiduelles sont un effet sur le calcaire total du sol. On constate une augmentation de la moyenne des taux de calcaire des sols des parcelles amendées de Tadmaït par rapport à celles amendées de Boukhalfa.

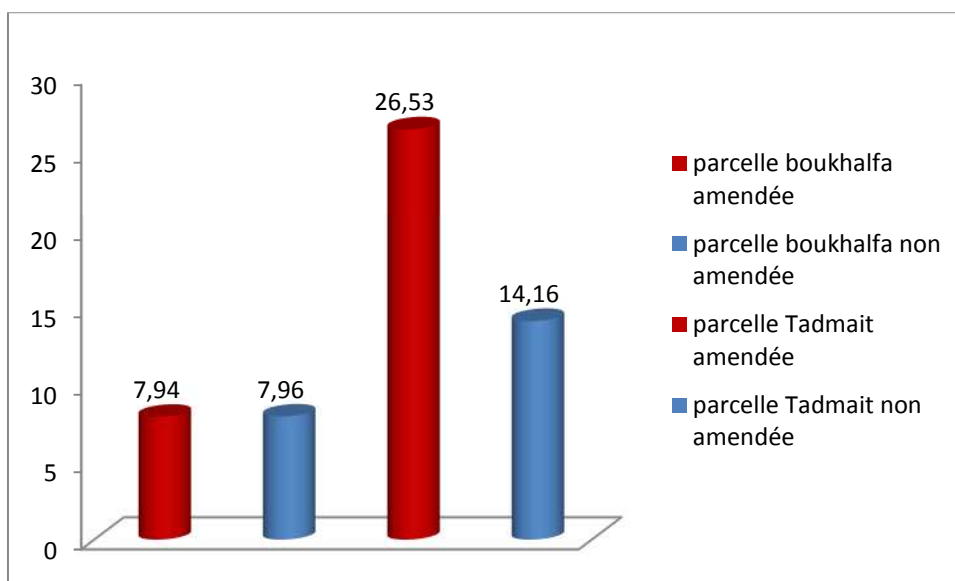


Figure 38: Taux moyens de calcaire des sols amendés et non amendés

4.4. Effet comparatif des boues résiduelles sur le phosphore assimilable des sols amendés et non amendés

Les teneurs moyennes en phosphore assimilable des sols amendés de la parcelle de Tadmaït sont plus élevées que celles des sols amendés de la parcelle de Boukhalfa.

Les résultats obtenus dans la couche superficielle des sols étudiés montrent une augmentation des teneurs en P assimilable dans les sols amendés avec les boues dont la moyenne est de 14,41ppm pour les sols de la parcelle de Tadmaït et 7,56ppm pour ceux de la parcelle de Boukhalfa. L'application de l'ANOVA à un facteur montre que l'effet des deux boues est significatif sur l'augmentation des teneurs en phosphore assimilable.

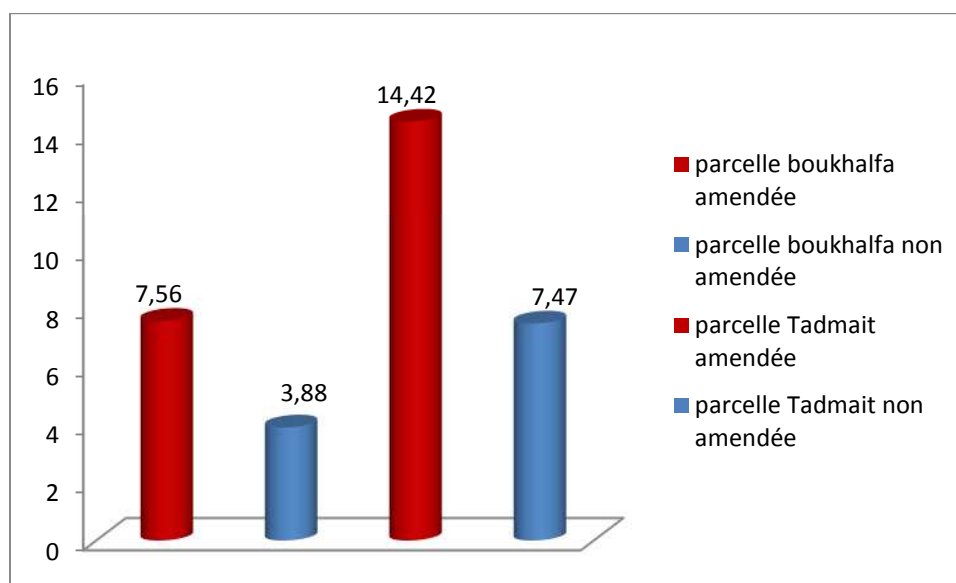


Figure 39: Effets comparatif des boues sur le taux du phosphore assimilable dans les sols amendés et non amendés

4.5. Effet comparatif des boues résiduelles sur la densité apparente des sols amendés et non amendés

L'étude comparative des moyennes de la densité apparente montre que l'amendement en boue provoque une diminution de ce paramètre.

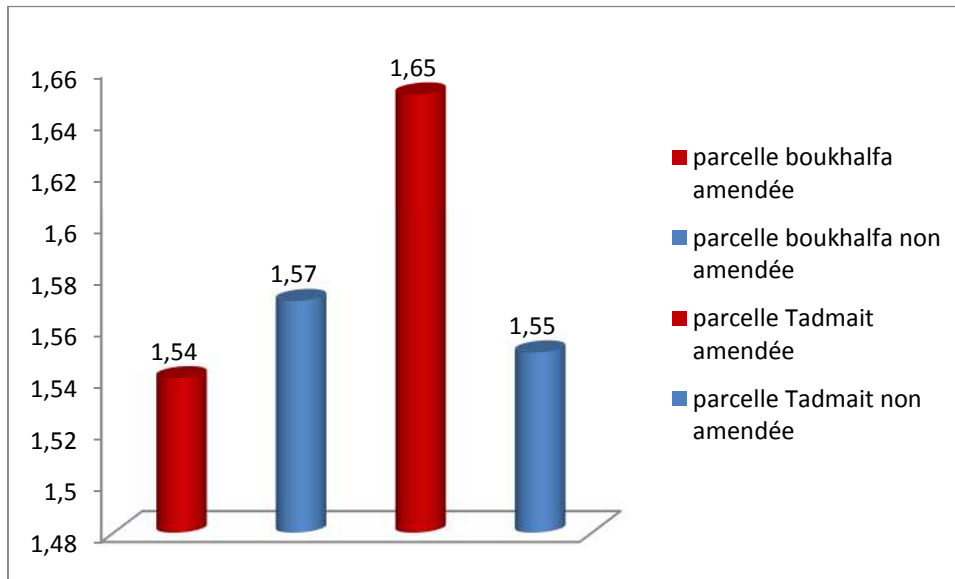


Figure 40: Effet comparatif des boues sur la densité apparente des sols amendés

La figure 37, révèle que les densités apparentes sont de $1,52\text{g/cm}^3$ pour le sol de Tadmaït et $1,56\text{g/cm}^3$ pour le sol de Boukhalfa.

4.6. Effet comparatif des boues résiduelles sur la porosité totale des sols étudiés

L'apport de boues révèle un effet bénéfique dans les deux cas étudiés, avec des améliorations importantes d'ordre de 45,4 % pour la parcelle de Boukhalfa. On constate que les boues ont un effet positif sur la porosité des sols amendés.

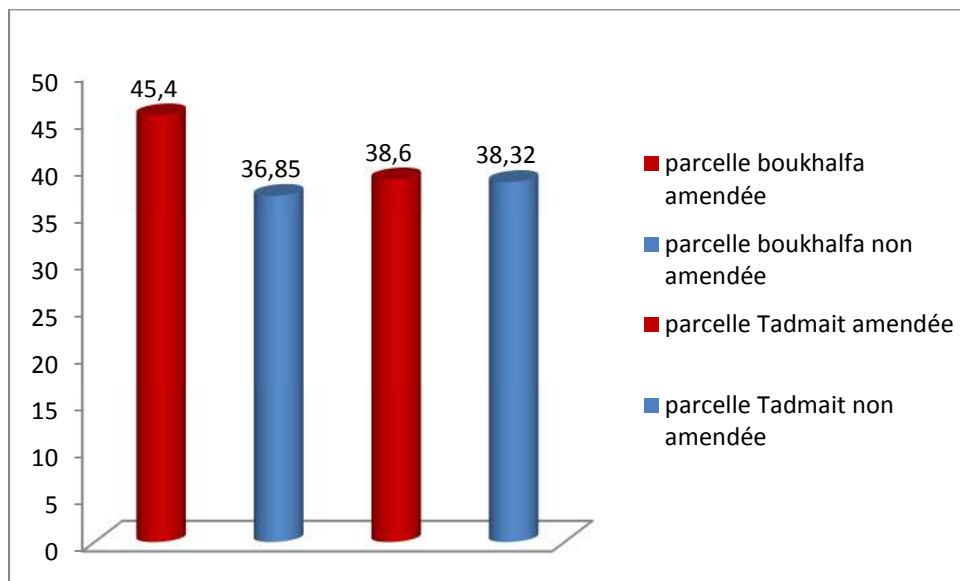


Figure 41: Effet comparatif des boues étudiées sur la porosité des sols des parcelles amendées et non amendées

5. Discussion générale des résultats

L'analyse des résultats obtenus sur l'effet de l'épandage empirique des boues sur les densités apparentes, les porosités totales des sols étudiés, ne montre pas une différence significative, contrairement aux travaux d'autres chercheurs (**Metzger et al., 1985; Garcia et al., 2005**), ceci est probablement dû aux doses insuffisantes apportées par les agriculteurs ou bien à la non homogénéisation des épandages, d'où, il serait intéressant de continuer le travail, en apportant différentes doses de boues et aussi en choisissant un mode d'épandage adéquat qui permettrait une homogénéisation des boues sur le sol.

Quant à l'effet de l'apport des boues sur les propriétés chimiques des sols, les résultats obtenus dans les deux types de sols étudiés, ne montre aucun effet significatif pour la conductivité électrique, sur le pH. Par contre, ceux du calcaire total et ceux du phosphore assimilable, l'effet de l'apport de boues est d'un effet significatif, en effet, les valeurs des sols amendés avec boues sont plus élevées que celles des sols témoins. Ces résultats sont conformes à ceux trouvés par d'autres chercheurs (**Sommers, 1977; Suss, 1979; Hussein et al., 2010**)

Quant aux teneurs en phosphore assimilable des sols, les résultats obtenus dans la couche superficielle des sols étudiés montrent une augmentation dans les sols amendés avec les boues dont la moyenne est de 14,41ppm pour les sols de la parcelle de Tadmaït et 7,56ppm pour ceux de la parcelle de Boukhalfa et par rapport à ceux des témoins qui sont respectivement et de 7,47 ppm et de 3,88 ppm. Ces résultats sont conformes à ceux de **Hussein Kh. Ahmed et al. (2010) et Ait ouazzou (2015)**.

L'analyse de la variance à un facteur montre un effet significatif pour le paramètre calcaire total et phosphore assimilable (tableau 1et 2, annexe2), par contre non significatif pour les paramètres physiques étudiés: densité apparente et porosité (tableaux 1et2, annexe 3), et aussi sur le pH et la conductivité des sols étudiés (tableaux 2 et 3, annexe 1).

Les résultats obtenus le long de ce travail nous permettent d'affirmer que les boues apportées ont montré des effets positifs sur certains paramètres (P assimilable et calcaire), mais aussi, ils n'ont pas montré d'autres effets sur d'autres paramètres dont l'effet positif est connu et démontré (densité apparente, porosité totale). Ces résultats sont probablement liés aux apports empiriques des boues et aussi aux modes d'épandage non adéquats et non homogènes par les agriculteurs des domaines des parcelles étudiées.

Conclusion générale et perspectives

Conclusion Générale

Notre travail s'inscrit dans le cadre de la valorisation des boues résiduaires issues de stations d'épuration. Il a porté sur l'effet de l'épandage des boues résiduaires des step Est et de Boukhalfa sur les propriétés physiques et chimiques de deux sols arboricoles de Tadmait et de Boukhalfa.

Les analyses physiques et chimiques des sols qui ont portées sur les paramètres: pH, CE, phosphore assimilable, calcaire total, densité apparente et porosité totale, nous permettent d'estimer l'effet de l'amendement boues résiduaires choisies sur les propriétés des sols en comparaison avec ceux des sols des parcelles témoins.

Les solutions des sols des deux parcelles amendées, sont caractérisées par :

- des pH évoluant entre 7,66 et 8,08, lesquels selon les normes fixées, sont légèrement à moyennement alcalins. En comparant avec les pH des sols témoins, il ressort que les boues apportées ont un effet non significatif.
- des conductivités électriques des extraits aqueux varient de 0,02 à 0,03 dS/m, donc les sols des parcelles étudiées sont considérés non salés. Les résultats obtenus ne montrent aucun effet des boues sur ce paramètre.
- Concernant le taux de calcaire total, on constate que tous les sols étudiés sont calcaires et fortement calcaire. Les sols de la parcelle de Tadmait est plus calcaire que celui de celle de Boukhalfa, avec un effet de boues plus marqué au niveau des premières couches, à l'opposé de ceux de Boukhalfa, où l'effet est plus marqué en profondeur, ce qui peut être expliqué par la solubilisation et l'entraînement en profondeur du calcaire vu que la texture de ce dernier est sableuse.
- Les résultats des paramètres et propriétés chimique étudiés ont confirmés aussi l'effet positif des boues sur le phosphore de la couche superficielle des sols (20cm) étudiés, où on observe une augmentation de cet élément, dans les sols amendés avec les boues dont la moyenne est de 14,41ppm pour les sols de la parcelle de Tadmait et 7,56ppm pour ceux de la parcelle de Boukhalfa et par rapport à ceux des témoins qui sont respectivement et de 7,47 ppm et de 3,88 ppm.
- Les densités apparentes des sols des parcelles amendées et non amendées sont semblables et l'effet d'apport de boue n'est pas significatif. les résultats obtenus dans la couche superficielle des sols étudiés montrent une légère augmentation dans

les sols amendés avec les boues dont la moyenne est de $1,50 \text{ g/cm}^3$ pour les sols de la parcelle de Tadmait et $1,56 \text{ g/cm}^3$ pour ceux de la parcelle de Boukhalfa et par rapport à ceux des témoins qui sont respectivement et de $1,56 \text{ g/cm}^3$ et de $1,52 \text{ g/cm}^3$.

- La porosité totale des sols amendés ont des valeurs plus élevées par rapport à ceux témoins. Cet effet positif des boues apportées, est plus marqué dans les sols de Boukhalfa, ceci est probablement dû à l'apport récent de boues et aussi à celui de fumier au niveau de cette parcelle.

A l'issue de ce modeste travail, il est indiqué que les apports de boues résiduelles présentent une opportunité importante, capables d'améliorer la fertilité du sol. Cependant la présence de métaux lourds constitue une contrainte dans la conséquence est la pollution des sols et les rendre inadéquats à l'exploitation agricole.

Notre étude n'est qu'une contribution à la valorisation agricole des boues résiduelles.

En perspectives d'un approfondissement de cette thématique de recherche, il est souhaitable de compléter ce travail par :

- ✓ Le contrôle, du bon fonctionnement des procédés d'épuration générateurs des boues autorisées pour que l'épandage doive être effectué systématiquement.
- ✓ une quantification des teneurs en métaux lourds afin d'éviter les risques de pollution des sols, ainsi que les risques de toxicité qu'ils peuvent engendrer sur les végétaux.
- ✓ Une augmentation du nombre d'échantillons à analyser.
- ✓ Un apport de doses optimales
- ✓ Un épandage efficace et homogène
- ✓ Une augmentation du nombre de répétition pour pouvoir améliorer la précision de l'analyse statistique.
- ✓ Un diagnostic hydrologique, pédologique et biologique est à inclure dans l'étude de mise en place du plan d'épandage pour déterminer l'aptitude des sols à l'épandage ainsi prévenir les risques pathogènes.
- ✓ Des entreprises spécialisées dans le traitement des déchets peuvent contribuer, non seulement en leur fournissant un service de traitement, mais surtout en créant une valeur économique, sociale et environnementale à partir du déchet.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

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

Ademe, 1996 : La valeur azotée des boues résiduelles de station d'épuration urbaine. 336p.

Ademe, 1999 : Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde, Ademe édition, Paris, pp.159.

Ademe, 2001 : Les boues chaulées des stations d'épuration municipale : production qualité et valeur agronomique, Ademe édition, Paris, pp.224.

Ademe, 2001 : les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture – dossier document p30.

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

Amir S ,2005 : contribution à la valorisation de boues 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 changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 42, 55-72.

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.

Arrêté du 8 Janvier 1998 : modifiant le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées. Journal Officiel de la République française, pp : 1563-1571.

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

Aubert, 1970 : Méthodes d'analyses des sols, CRDP, Marseille, 171 p.

Baudez JC ; 2001 : Rhéologie et physico-chimie des boues résiduares pâteuses pour l'étude du stockage et de l'épandage. Thèse de doctorat, ENGREF, Paris. 235 p.

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

Benmouffok A, 1994 : Caractérisation et valorisation agricole des boues résiduares de Draa Ben Khada (Algérie), cahier Agricultures 1994 ; 3 :295-9p295-299.

Benmouffok A, 1994 : Caractérisation et valorisation agricole des boues résiduares de Draa Ben Khada, cah Agric ; 3^{ème} édition J .L. Euro texte.597p

Benmouffok, 1980 : Contribution à l'étude d'emploi des boues résiduares en culture maraîchères. Thèse d'ing. INA Alger 36p.

Benmouffok, 1980 : Evaluation des performances physico-chimiques et bactériologique de la station d'épuration de Boumerdes. Mémoire de fin d'étude, institut de biologie de l'UMMTO 42p.

Bensghir, 1996 : Amélioration des techniques de production hors- sol du chêne- liège : conteneur- substrat – nutrition minérale. Master en science forestières CEMAGREF (Aix en provenance), 26 p.

Bechac ; 1987 : traitement des eaux usées (2ème édition).

Berchiche C ; Ladjimi S, 2010 : contribution à l'étude de la valorisation et de la caractérisation des boues résiduares 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 : Le traitement centralisé des boues T.S.M l'eau, n°6, juin pp:231-242.

Brame V; Lefevre G., 1977 : Aspects qualitatifs de l'utilisation agronomique des boues résiduares des stations d'épurations. Bull.d'AFES n°3, pp : 125-140.

Chassand C ; Merrillot J M et Wait J, (2000): Les boues d'épuration municipales et leurs utilisations en agriculture. Dossier documentaire ADEME, 57p.

Couturier C et Galtier L, (1999) : Etat des connaissances sur le devenir des germes.

Collection OTV, 1997 : Ouvrage collectif. Traité et valorisé 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.

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

Coulibaly Mohand Alfatihou, 2010 : contribution à l'analyse des eaux usées 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 mostaghanem.180p.

Degremont ,1966 : Mémento technique de l'eau.

Degrement., 1972 : Mémento technique de l'eau

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

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

Dridi B. et Toumi C., 1999 : Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. Etude et Gestion des sols 6.1. pp 7 - 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 INRA (INRA : Institut national de la recherche agronomique) Août 2000.

Dudkowski A, 2000b : l'épandage agricole des boues de station d'épuration d'eau urbaines courrier de l'environnement de l'INRA. Octobre 2000, pp134-135.

Duchaufour, pH ; 1977 : pédogenèse et classification pédologique (II) Edition Masson Paris ,477p.

Ecren, 2000: Que faire des boues? (what doing with sludge ?). Clubenvironnement et société.

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.

Elissalde N, 1994 : les germes pathogènes dans les boues résiduelles des stations d'épuration urbaines, contrats ADEM n°2700010 et 270009,90p.

Faucard J, 1994 : Filière pépinière de la production et de la plantation technique et documentation, édition Lavoisier Paris 428p

Falconnet et al ,1992 : la production des plants forestière hors –sol ENGREF(Nancy) 18 p.

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 de l'INRA n °25.

Gantzer C ; Gaspard P ; Galvez L ; Huyard A ; Dumouthier et Schwartzbord J, 2001 : Génie de procédés de l'environnement, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 360p.

Guiraud G, 1977 : Evolution de l'azote du sol en présence des boues résiduelles, Orleon, Min, Environt.

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, pp 42-46.

Hammel, J. E. 1989. Long-term tillage and crop rotation effects on bulk density and Soil impedance in Nothern Idaho. *Soil Science Society of America Journal*, 53, 1515-1519

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, 4page

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

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

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

Juste et Solda, 1977 : Effets d'application massives de boues 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.

Juste C, 1995: Valorisation agricole des boues issues du traitement des eaux usées urbaines. Bordeaux (France).

Juste et Solda ,1997 : Contribution à la valorisation agricole des boues d'épuration de la station d'épuration de TO. Mémoire fin d'étude, institut d'agronomie de l'UMMTO, 42p.

Juste, 1979 : Valorisation agricole des boues usées de traitement des eaux urbaines. Bordeaux. France.

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

Kirkham M B, 1982: «agricultural use of phosphorus in sewage sludge» dans: Adv.In agron. Pages 129-163.Elsevier.

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

Lassez C, 1985: Analyse des boues tome1, généralité et analyse physique : Etude synthèse.

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

Lindsay B; Logan T J, 1998: Field response of soil physical properties to sewage sludge. Journal of Environmental Quality, 27, pp534-542.

Loue, 1986 : les oligo- éléments en agriculture, Ed. Agr- Nathan Paris 336 p.

Mathevon V, 1999: Les techniques existantes d'élimination et de traitement des boues.

Missoum K ; Meddaouri S ,2003: Contribution à l'étude de la caractérisation des boues de la nouvelle station d'épuration Est de Tizi-Ouzou.

Mininni G; Sbrilli A; Guerriero, E; Rotatori M, 2004: « Dioxins and furans Formation in pilot incineration tests of sewage sludge spiked with organic chlorine Chemosphere »,

Murillo M, 2004 : Caractérisation de l'Effet d'un Traitement au Peroxyde d'Hydrogène sur une Boue - Application la Réduction de la Production de Boue', Thèse de doctorat, INSA Toulouse.

Mugnir A A.1999 : «gestion des boues : les agriculteurs au service des villes». Edibesançon. Colloque, octobre 1999.

Nabila Cherifi, juin 2013: Contribution à la caractérisation des eaux usées et des boues résiduaires, analyse de cas de valorisation agricole de boues résiduaires dans la wilaya de TIZI-OUZOU p22.

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.

Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques

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, 1979 : Valorisation agricole des boues résiduaire. Cycle formation permanente 8p.

OTV, (omnium de traitement et de valorisation) 1997. Traiter et valoriser les boues. Collection N°2, Edition technique et documentation. Lavoisier, paris.457p

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

Rejsek F, 2002 : Analyse des eaux, aspect réglementaires et techniques. Ed. centre de documentation pédagogique d'aquitaine pp 165-188.

Rodier J ; Bazin C ; Chambon P ; Broutin J-P ; Champsaud H ; Rodi L, 1996 : Analyse de l'eau : eau naturelles, eaux résiduaires, eau de mer, 8^{ème} édition .Edition DUNOD, Paris .1983 p.

Sahstrom et al, 2004: Bacterial pathogène incidences in sludge from Swedish sewage treatment plants. Water research, 38, 1989- 1994.2004.

Sommers et al, 1976 : Contribution à la valorisation agricole des boues d'épuration de la station d'épuration de TO. Mémoire de fin d'étude, institut de biologie de l'UMMTO, p42.

Sommers, 1977: « Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potentiel use as fertilizers» journal of environnement quality, pp225-232.

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

Soltner D, 2000:Les bases de la production végétale T1 : le sol, 22^{ème} édition science et technique agricole Maine et Loire France 457p.

SPDE, 2006 : Syndicat professionnel des entreprises de services d'eau et d'assainissement.

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

Johon, et Jacobsen, 2001: plant nutrition and soil fertility Montana university
[www.colostade](http://www.colostade.edu/depts/coopEXT/TRA/plants/nutrient/pdf) .Edu/depts./coop EXT/TRA/plants /nutrient /pdf.

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

Thoman C, 1983 : Les possibilités d'utilisation des eaux usées en agriculture -technique et documentation. pp 10-16.

VillainM, 1989: la production végétale .volume 2: la maitrise technique de production tec et doc. Lavoisier Ed J.B bailliére 355p.

WebbLJ, 1984: A study of conditionning sewage sludges with lime. water pollution control, n°2 vol, 73, pp: 192-206.Dunod. 424p.

Werther J; Ogada T, 1999: sewage sludge « combustion. Progress in Energy and Combustion».

Yahia Cherif L et Chikhi Y, 2012 : Contribution à la connaissance de l'impact de différentes doses de boues résiduares sur un sol d'une texture argileuse et sur la productivité d'une variété de blé tendre (Ain Abid)

Annexe

Annexe 1

Tableau 1: Résultat de la décantation du prélèvement

A ₁	1 ^{er} décantation	V ₃₀ 1	930	2 ^{ème} décantation	V' ₃₀ 1	120
A ₂		V ₃₀ 2	920		V' ₃₀ 2	130
		IB ₁	80,794 ml/g		IB ₁	88,255 ml/g

Tableau 2: normes d'interprétation de la réaction du sol (pH)

4, à 5	très fortement acide
5,1 à 5,5	fortement acide
5,6 à 6,75	faiblement acide
6,75 à 7,3	Neutre
7,4 à 7,8	l'égèrement alcalin
7,9 à 8,4	moyennement alcalin
8,5 à 9	fortement alcalin
> 9,1	très fortement alcalin

Tableau 3: normes d'interprétation pour la Conductivité électrique

CE (ms/cm)	le sol
< 0,6	non salé
0,6 à 1,2	peu salé
1,2 à 2,4	Salé
2,4 à 6,0	très salé
> 6	extrêmement salé

Annexe 2**Tableau 1: normes d'interprétation du calcaire total**

calcaire total en (%)	le sol
< 5	non calcaire
5 à 6	très faible en calcaire
6 à 10	faible en calcaire
10 à 25	Calcaire
25 à 50	fortement calcaire
> 50	très fortement calcaire

Tableau 2: norme d'interprétation pour le phosphore assimilable

phosphore (ppm)	Abondance
0 à 5	très basse
5 à 10	Basse
10 à 22	Moyenne
>22	Elevé

Annexe 3

Tableau 1 : Résultats de l'ANOVA sur la porosité totale des sols étudiés

Df	SCE	CM	F	Pr (>F)
Sol	3 131.14	43.712	0.5715	0.6494
Résiduels	8 611.89	76.487		

Tableau 2: Résultats de l'ANOVA sur la densité apparente des sols étudiés

	SCE	CM	F	Pr (>F)
Sol	3 0.024625	0.0082083	0.7542	0.5502
Résiduels	8 0.087067	0.0108833		

Tableau 3 : Résultats de l'ANOVA sur le phosphore assimilable des sols étudiés

	SCE	CM	F	Pr (>F)
Sol	3 174.55	58.184	4.4307	0.04098 *
Résiduels	8 105.06	13.132		

Tableau 4 : Les Résultats du test de Newman Keuls sur le phosphore assimilable

Groupes	Traitements	Moyennes
A	p8TR	14.42
B	p7TR	7.56
B	p8t	7.47
B	p7t	3.88

Annexe 4

Tableau 1 : Résultats de l'ANOVA sur le taux de CaCO_3 total des sols étudiés

	SCE	CM	F	Pr (>F)
Sol	3 873.54	291.178	70.975	4.17e-06
Résiduels	8 32.82	4.103		

Tableau 2: Résultats du test de Newman Keuls sur le CaCO_3 total

Groupes	Traitements	Moyennes
A	p8TR	26.94
A	p8t	26.52
B	p7TR	10.22
B	p7t	9.16

Résumé

Les boues de station d'épuration sont des déchets dont la production augmente régulièrement.

Produites par les stations d'épuration des eaux usées, traitées comme déchets ménagers, elles sont soit stockées ou abandonnées à la décharge publique. Leur utilisation comme amendement organique constitue donc une alternative pour leur élimination à condition de montrer leur effet positif sur le récepteur sol. Notre recherche a pour objectif, l'étude de l'effet des boues résiduelles produites par deux step sur les propriétés physiques et chimiques des sols agricoles dans la wilaya de Tizi Ouzou.

Les résultats obtenus ont montrés une légère augmentation de la porosité totale et une forte augmentation du taux de calcaire total et aussi de teneurs en phosphore assimilable des sols amendés. Par contre, les effets sur les autres paramètres physiques et chimiques étudiés (pH, CE, Da), l'effet est peu ou non significatif, ceci est probablement dû à des facteurs non pris en considération dans notre étude.

Mots clés : Boues résiduelles urbaines, propriétés chimiques des sols, propriétés physiques des sols.

Abstract

Sewage sludge are wastes whose production increases regularly.

Produced by the treatment plant waste water, treated as household waste, they are either stored or abandoned at the dump. Their use as organic amendment is therefore an alternative to disposal provided to show their positive effect on the receptor that is the ground.

Our research aims to study the effect of sewage sludge produced by two steps on the physical and chemical properties of agricultural soils in the wilaya of Tizi- Ouzou.

The results obtained have shown an increase of the total porosity, the total rate of limestone and also assimilable phosphorus contents of amended soils. For cons, the effects on other physical and chemical parameters studied (pH, EC, Da), the effect is not significant or not, this is probably due to factors not considered in our study

Key words: Urban sewage sludge, soil chemical properties, soil physical properties