

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 Agronomiques



Mémoire

de fin d'études

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

Spécialité: **Réhabilitation et Restauration des Sols**

Thème

*Effet doses de l'épandage des boues résiduaires urbaines sur le
taux de l'azote dans un sol alluvial
(Cas d'orangerie de Boukhalfa)*

Réalisé par : M^{elle} CHERIFI Thiziri

M^{elle} MOULOUDJ Dihya

Devant le jury:

M ^{me} MESSOUS Alkama N.	Maitre de Conférences A	UMMTO	Présidente
M ^{elle} OMOURI O.	Maitre assistante B	UMMTO	Promotrice
M ^{me} BOURBIA MOUAS S.	Maitre de Conférences B	UMMTO	Co-promotrice
M ^{me} BOUTEBTOUB W.	Maitre de Conférences B	UMMTO	examinatrice

Promotion 2016 - 2017

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^{elle} OMOURI .O***

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

*Nous tenons également à remercier notre co-promotrice **M^{me} BOURBIA S** pour son aide et sa disponibilité, ses conseils qui nous ont guidés dans l'élaboration de ce mémoire de fin d'étude*

*Nous remercions **M^{me} MESSOUS ALKAMA N.** qui, malgré sa lourde charge, elle a acceptée présider le jury.*

*Nous tenons également à exprimer nos sincères remerciements aux égards des membres de jury **M^{me} BOUITEBTOUB W.** pour avoir accepté d'examiner et de juger ce travail.*

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

*Nous remercions le chef de Division de production animale L'INRAA a Alger en particulier **M^{me} ALANE F.** pour son entière disponibilité et pour sa présence durant toute la phase de laboratoire. Qu'elle trouve ici l'expression de notre profonde reconnaissance.*

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

*Nous remercions **M^{elle} ISSAOUN D.** qui nous a aidés à réaliser l'analyse statistique des résultats.*

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

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

Aucune œuvre n'est exaltante que celle réalisée avec le soutien moral des personnes qui nous sont proches .

Je dédie ce mémoire à mes parents qui ont œuvré pour ma réussite, à mon père qui peut être fier pour l'éducation et les valeurs nobles qu'il m'a inculqué .

À ma mère pour son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

À mon frère Koceïla qui a toujours été à mes côtés

À mon cher mari Seddik pour ses précieux conseils, son soutien, qui n'a cessé de m'encourager

À ma belle mère et toutes ma belle famille qui sont présent pour moi

À mes oncles, tantes, cousines et cousins

À mes meilleures amies Nadia, Michia, Meyassa.

À ma binôme et chère amie Thiziri et à toute sa famille

À toute la promotion Réhabilitation et restauration des Sols 2016-2017

Puisse Allah faire que ce travail porte ses fruits.

Difiya

Dédicaces

Je dédie cet humble travail 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 : Fetfi

A ma sœur : Haina

A mon beau frère : Malek

A Mes neveux: Ayoub et Yassine

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 : NADIA, MICHA, MEYASSA.

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

*A toute la promotion **REHABILITATION ET RESTAURATION DES SOLS**: 2016-2017*

Et a toutes les personnes qui croient en moi

THIZIRI

Liste des abréviations

°C : degré Celsius

MS : Matière sèche

MV : matière volatile

DCO : Demande chimique en oxygène

DBO : Demande biologique en oxygène

PT : pouvoir tampon

NTK : Azote Total Kjeldhal

C .H.O.N.S : Carbone, hydrogène, oxygène, azote, soufre

PCI : pouvoir calorifique inférieur

KWH : kilowatt-heure c'est une unité de quantité d'énergie

pH : le potentiel d'hydrogène

AGV : Alcalinité en CaCO_3

Pb : Plomb

Cu : Cuivre

Ni : Nickel

As : Arsenic

Cd : Cadmiums

Hg : Mercure

Ti: Titane

MEH : matières extractibles à l'Hexane

N, P,K : éléments fertilisants

N-NH₄ :N Ammoniacale

NO₃⁻ : nitrique

S.A.R: Sodium Absorption Ration

C.E : conductivité électrique

ETM : éléments tracs métalliques

HS : horizon de surface

HF : horizon de profondeur

Liste des figures

01	Schéma de principe d'une filière de traitement des boues	5
02	Carte de la wilaya de Tizi-ouzou	22
03	Moyennes des températures (2006-2016)	24
04	Moyennes des précipitations (2006-2016)	25
05	Diagramme Ombrethermique de la région de Boukhalfa entre 2006 et 2016	26
06	Situation de la région de Boukhalfa dans le climagramme d'Emberger	27
07	Vue générale de la STEP Ouest Boukhalfa	30
08	Photo illustrant la détermination de la matière sèche	33
09	Photo illustrant le test de décantation V30	34
10	Photo illustrant la détermination des matières volatiles sèches	35
11	image prise sur la parcelle	36
12	Localisation de la parcelle via Google Earth 2017	36
13	Image satellitaire de la parcelle via Google Earth 2017	37
14	Dispositif expérimental d'épandage des boues	38
15	Photo illustrant le prélèvement des échantillons de 0 à 20 cm	39
16	Photo illustrant le prélèvement des échantillons de 20 à 40 cm	39
17	image qui illustre l'agitation au laboratoire	40
18	image qui montre la filtration	40
19	images qui montre la préparation du sodium hydroïde	41
20	image qui montre la préparation de la soude	41
21	image des matras	42
22	image de la hôte	42
23	MGO carbonisé	43
24	Four a mofle	44
25	image de l'appareil du minéralisateur	45
26	Etape de la distillation	45
27	image de titrassions d'un témoin	46
28	Effets de dose de boues dans différents profondeurs sur le taux de l'azote totale dans le sol d'oranger de boukhalfa	47
29	teneur de l'azote total en fonction des doses de boue 45jours après épandage	49
30	teneur de l'azote total dans les sols en fonction des niveaux de profondeur 45 jours après l'épandage	50
31	teneurs de l'azote minéral en fonction de différentes doses de boue a différentes niveau de profondeur 45 jours après épandage	52
32	teneurs des sols en azote minéral en fonction de différentes doses de boue 45 jours après épandage	53

Liste des tableaux

Numéro	Titre	Page
1	Composition générale des boues d'épuration (Dudkouski, 2000)	11
2	Teneurs des boues en éléments trace métalliques (SYPREA ,2000)	13
3	Les tempéressions des 10 dernières années de la région de Boukhalfa	24
4	Les précipitations de la région de Boukhalfa (2006-2016)	25
5	Valeurs de quotient pluviométrique de la région de Boukhalfa	27
6	Indice d'aridité mensuel de DE-DEMARTONNE appliqué a Boukhalfa entre 2006-2016	29
7	Les paramètres de laparcelle	37
8	résultats d'analyse de la variance pour facteur différents facteurs (dose, horizons, interaction dose et horizons	48
9	les résultats d'analyse de test NEWMAN et KEULS	48
10	Analyse de la variance pour les différent facteurs étudiés en azote minéral	51
11	Le test NEWAN et KEULS	52
12	L'azote organique et le rapport Norge/NTK, Norge/Nmin	54

TABLES DE MATIERS

INTRODUCTION GENERALE1

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I- Les boues résiduaires	3
I-1. Définition origine et composition des boues résiduaires	3
I-2 Types de boues résiduaires	3
I-2-1 Les boues urbaines.....	4
I-2-2 Les boues industrielles.....	4
I-2-3. Boues de traitement primaire	4
I-2-4 Boues de traitement biologique	4
I-2-5 Boues de traitement physico-chimique.....	4
I-3 processus de traitements des boues résiduaires	5
I-3-1 L'épaississement.....	5
I-3-2 La stabilisation.....	5
I-3-3 Le conditionnement	6
I-3-4 La déshydratation.....	6
I-4 la caractérisation de la boue	6
I-4-1 Matière sèche (MS)	6
I-4-2 Matière en suspension.....	6
I-4-3 Matière volatile	7
I-5 Indice de boue.....	7
I-6 Caractérisation chimique des boues.....	7
I-6-1 Demande chimique en oxygène (DCO), demande biologique en oxygène (DBO), Pouvoir thermique, Azote total Kjeldhal (NTK).....	7
I-6-2 Carbone, hydrogène, oxygène, azote, soufre (C,H,O,N,S).....	7
I-6-3 Alcalinité en CaCO ₃ (AGV)	8
I-6-4 Eléments traces métalliques	8
I-6-5 Graisse.....	8
I-6-6 Fibres.....	8
I-6-7 Agents pathogènes.....	8
I-7 composition des boues	9
I-7-1 La matière organique	9
I-7-2 Éléments fertilisants.....	9
I-7-3 Le carbone	9
I-7-4 L'azote	10

I-7-5 Le phosphate.....	10
I-7-6 Le potassium.....	11
I-8. Teneur des boues en bases échangeables	12
I-8-1. Le calcium et le magnésium	12
I-8-2. Le sodium.....	12
I-8-3. Les éléments traces métalliques	12
I-9. Les types de boues à épandre.....	13
I-9-1. Les boues pâteuses.....	13
I-9-2. Les boues liquides.....	13
I-9-3. Les boues chaulées.....	14
I-9-4. Les boues compostées.....	14
I-10. Voies d'élimination des boues.....	14
I-10-1. L'incinération des boues	14
I-10-2. Mise en décharge	14
I-10-3. Épandage sur les terres agricoles	15
I-11. La valeur agronomique des boues.....	16
I-11-1. La valeur fertilisante des boues	16
I-11-1-1. La valeur fertilisante azotée des boues	16
I-11-1-2. Teneur azotée des boues	16
I-11-1-3. Forme d'azote dans les boues.....	16
I-11-1-4. Le rapport C/N des boues.....	17
I-11-1-5. Facteurs de variation de la teneur des boues en azote	17
I-11-1-6. Evolution de l'azote des boues dans le sol.....	17
I-11-1-7. Efficacité de l'azote des boues	18
I-11-1-8. Estimation de la valeur azotée des boues.....	18
I-11-1-9. Devenir de l'azote des boues après épandage	18
I-12. La valeur humique	19
I-13. La valeur neutralisante	19
I-14. Utilisation agricole des boues.....	19

I-14-1. Réglementation pour l'utilisation en épandage des boues	19
I-14-2. Risque liés aux boues résiduaires	20
I-15 .Utilisation de boues traitées	20
I-16.Sol aluviaux	21
I-16.1.Définition.....	22
I-16.2. Caractères généraux	22
I-16.3. Formation et évolution des sols alluviaux	
Chapitre II : Etude du milieu	
I. Présentation de la région d'étude	22
1. Localisation géographique	23
2. Situation géomorphologique	23
3.Étude climatologique	23
3.1 Caractéristiques climatiques.....	23
3.1.1La température.....	23
3.1.2 La pluviométrie.....	25
3.2 Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен.....	26
3.3 Le Quotient Pluviométrique et Climagramme d'Emberger.....	26
4. Indice d'aridité	28
Chapitre III : Matériel et méthode	
1. Les boues résiduaires urbaines	30
1. Les boues résiduaires urbaines	30
1.1. Le choix.....	30
1.2. L'origine	30
1.3. Localisation de la STEP de Boukhalfa	30
1.4. Caractéristique de la STEP ouest	30
1.5. Caractérisation des boues résiduaires urbaines	31
1.5.1. Analyses des boues	31
2. Méthodologie et caractérisation de la boue.....	32
2.1. Analyses effectuées	32
2.1.1. La Siccité.....	32

2.1.2. La matière sèche(MS)	32
2.1.3. Test de décantation V30.....	33
2.1.4. Matière volatile sèche (MVS)	34
3. Le sol	35
3.1. Le choix.....	35
3.2. Localisation et caractérisation de la parcelle d'étude.....	36
3.3. Objectif d'étude	37
3.4. Le choix du dispositif expérimental	37
3.5. Mise en place de l'essai	37
3.6. Echantillonnage (période et méthode).....	38
3.8. Préparation des échantillons et analyse.....	38
3.9. Dosage du l'azote totale.....	39
3.9.1. Le principe.....	39
3.9.2. Mode opératoire.....	39
3.9.2.1 Réactif	39
3.9.3. Minéralisation.....	40
3.9.4. Préparation de la solution.....	41
3.9.5. Distillation et dosage.....	41
3.9.6. Les calculs de l'azote total	42
3.10. Le dosage de l'azote assimilable	42
3.10.1. Introduction	42
3.10.2. Principe	42
3.10.3. Mode opératoire.....	43
3.10.3.1 . Réactifs et matériels.....	43
3.10.3.2. Les calculs de l'azote minéral.....	45
4. Analyse statistiques	46
Chapitre IV :Résultats et discussions	
IV. Résultats.....	47
1. L'effet de l'épandage de boue sur les teneurs d'azote total et minéral dans les sols d'oranger de Boukhalfa	47

1.1. L'azote total	47
1.1.1. Effets des doses de boue sur le taux de l'azote total dans le sol étudié	47
1.1.2. Effet de la profondeur de sol sur le taux d'azote total	48
1.1.3. Effets des différentes doses de boue et de profondeurs sur le taux de l'azote total dans le sol étudié	49
1.2. Azote minéral	50
1.2.2. Effet de différentes profondeurs sur le taux de l'azote minéral dans les sols étudiée	50
1.2.3. L'effet de différentes dose de boue et profondeurs sur l'azote minéral du sol étudié	50
1.3. Azote organique	54
2. Discussion générale	54
CONCLUSION GENERALE	57
Référence bibliographique	
Annexes	
Résumé	

Introduction générale

Les activités humaines génèrent des déchets en quantités de plus en plus élevées, leur gestion pose de gros problèmes. De ce fait, il faut trouver les moyens de les recycler. Les boues résiduaires, au même titre que les eaux usées dont elles dérivent, peuvent être mis à profit dans les régions où la variation climatique du milieu, associée au coût de production ne permettent pas toujours d'utiliser les fertilisants chimiques, pour palier à la faiblesse de fertilité des sols cultivés. L'utilisation des boues résiduaires traitées dans ce domaine apparaît comme une alternative attrayante pour augmenter la production (Benmouffok et al. 2005; Chathaet al., 2002; Cnb, 2000; Pescod, 1992; Ripert et al., 1990).

La valorisation agricole (épandage, production d'engrais et de compost) permet de transformer les boues en amendements organiques, en minimisant les risques de pollution (Prevot, 2000; Ademe, 2001; et al). L'intégration dans le sol des boues souscrit un rapprochement de leurs éléments dans les cycles naturels des éléments minéraux et organiques et apporte au sol une amélioration des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques (Abiven, 2004). Cette voie d'élimination répond aussi à des enjeux agronomiques, économiques et environnementaux, qui généralement, sont le plus avantageux qu'une mise en décharge ou l'incinération

En Algérie, la production des boues atteint 550T/ha en 2005, d'où, elles peuvent être un amendement pour des terrains agricoles, qui dans les conditions du climat algérien, de part l'évolution rapide des matières organiques, peuvent restituer une partie des éléments tout en améliorant certaines propriétés du sol

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

Dans le contexte actuel où l'agriculture doit produire de façon durable, la gestion de l'azote doit être raisonnée de plus en plus finement pour atteindre des objectifs multiples de rendements et de qualité des produits récoltés mais aussi de respect pour l'environnement. Ces objectifs ne peuvent être atteints qu'en pilotant la fertilisation azotée au plus près des besoins de la plante et en adaptant le système de culture en intercultures afin de réduire les pertes d'azote nitrique et sous forme gazeuse. Pour cela, il convient de connaître et de prévoir précisément la dynamique saisonnière de la minéralisation de l'azote organique du sol in situ

(Mathieu, 2006). L'azote un facteur limitant de la production agricole, sa disponibilité détermine le rendement, c'est l'élément majeur de la production végétale empreinte au sol, et c'est probablement sur la nutrition azotée que se justifié un certain nombre de besoins nutritifs. La teneur en azote des boues varie de 1a 8% de la matière sèche, alors que les boues liquides ont des teneurs qui oscillent de 7a 8%. En outre, la fraction minérale, N-NH₄ est inférieure à 10% de l'azote total (Kockmann,1996)

La valeur fertilisante azotée des boues dépend de leur richesse initiale en azote ammoniacale, mais aussi et surtout de l'aptitude de l'azote organique qu'elles contiennent à être minéralisé dans le sol (Grimaud, 1996)

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet de l'apport de différentes doses de boues urbaines sur le taux d'azote dans les sols d'orangers de Boukhalfa amandés avec les boues de la station d'épuration Ouest de Tizi-Ouzou.

Dans cette optique, notre sujet de recherche consiste à tester deux hypothèses :

- L'apport des boues résiduaires urbaines améliore le taux d'azote total du sol ;
- L'apport des boues résiduaires urbaines améliore le taux d'azote minéral du sol.

Le manuscrit élaboré est composé des parties suivantes :

- ✓ Partie I: Synthèse bibliographique
- ✓ Partie II : Etude du milieu
- ✓ Partie III : Matériel et méthodes
- ✓ Partie IV : Résultats et discussion

En fin, une conclusion générale couronne ces chapitres. Elle fait état de l'ensemble des enseignements tirés de cette étude et préconise les recommandations jugées nécessaires pour améliorer la fertilisation des sols par l'apport de boue résiduaires urbaines et la prise en considération de la teneur en azote total et minéral dans le sol étudié en fonction de différentes doses de boue et de profondeurs.

I. Les boues résiduaires

1. Définition, origine et composition des boues résiduaires

On appelle « boues résiduaires ou boues d'épuration » les sédiments résiduaires issus du traitement des eaux usées ; les boues d'épurations urbaines résultent de traitements des eaux usées domestiques qui provient de l'activité des particuliers et éventuellement des rejets industriels. Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers la station d'épurations ou elles sont traitées. En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu naturel et il reste les boues résiduaires qui sont composés d'eau et de matière sèches contenant des substances minérales et organiques (Lazili, 2011).

Les boues sont composées des sous-produits recueillis aux différentes étapes de la dépollution de l'eau. Elles contiennent toutes sortes de matières en suspension ou dissoutes, dont beaucoup sont fort utiles pour le milieu naturel : tels que l'azote, phosphore, potassium, carbone... (OTV, 1997). 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, 1982) leur caractéristiques (avant traitement) sont extrêmement variables d'une station d'épuration à une autre, elles dépendent de la nature des effluents et de types de traitements appliqués sur la filière d'eaux résiduaire (OTV, 1997).

En fonction de sa nature, la matière contenue dans les eaux résiduaires connaît un sort différent : la matière minérale et la matière organique réfractaire sont accumulées tandis que la matière organique biodégradable sert de substrat aux micro-organismes épurateurs (Grulois et al., 1996). Dans le cas des boues secondaires, la matière organique est prépondérante. D'après Paul et al. (2005), 60% des boues sont composées de matières organiques inertes sous l'effet des contraintes régnant au niveau de la station d'épuration, les bactéries libres épuratrices adoptent une structure en floccs. Elles s'agglomèrent et forment des agrégats plus denses que l'eau. Ces floccs décantent, sont récupérés au niveau du clarificateur et sont purgés, formant ainsi une large fraction des boues.

La disposition du phosphore, de l'azote, et du taux de matière organique des boues est conditionnée par le procédé de traitements utilisé dans la station. Par leur composition, les boues, une fois épandue, augmentent le rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments pour les cultures et servent d'amendement organiques et calcique pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées

(Benmoufok, 1994 ; Abiven, 2004). Des microorganismes présents en grand nombre dans le sol digèrent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour les plantes. Une autre partie des matières organique est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines.

2. Types de boues résiduaires :

Schématiquement, il existe deux grandes catégories de boues résiduaires

2-1. Les boues urbaines

Elles résultent du traitement des eaux usées d'origine domestique. C'est-a-dire des activités des particuliers (OTV, 1997).

2-2. Les boues industrielles

Elles résultent du traitement des eaux usées issues des industries, leurs caractéristiques sont évidemment liées à la nature des activités industrielles concernées. Généralement, les industries agro-alimentaires, produisent des boues organiques, facilement valorisables, tandis que d'autres boues industrielles sont essentiellement minérales et comportent parfois certains éléments traces métalliques ou organiques (OTV, 1997).

Selon les différentes phases de traitement des eaux usées, on obtient des boues à caractéristique, différentes :

2.3. Boues de traitement primaire

Elles proviennent d'une séparation physique des matières en suspension décantables organiques et minérales, au niveau d'un décanteur situé à l'entrée de la station. Elles sont d'aspect grisâtre, d'odeur fétide, très fermentescible et très contaminée bactériologiquement (Rejsek, 2002).

2.4. Boue de traitement biologique

Ces boues sont essentiellement formées par les résidus de bactéries cultivées dans les ouvrages d'épuration. Ces bactéries sont nourries de matières organiques contenues dans les eaux usées et les ont digérées. 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 régulièrement entretenant ainsi la dynamique de reproduction bactérienne. Ces boues

biologiques ont une composition différente selon la nature de substrat dégradé, de la charge de fonctionnement du réacteur biologique, de traitement de stabilisation éventuellement pratiqué (Rejsek, 2002).

2.5. Boues de traitement physico-chimique

Ces boues diffèrent du type précédent, les matières organiques particulaires ou colloïdales contenues dans les eaux usées sont agglomérées par addition d'un réactif coagulant (sels de fer ou d'aluminium). Séparées par décantation, Ces boues renferment une partie importante de sels minéraux issus des eaux brutes et de l'agent coagulant. Les boues physico-chimiques sont surtout produites dans des stations balnéaires ou touristiques aux variations de populations très grandes sur une courte période (Rejsek, 2002).

3. Processus de Traitements des boues résiduaires

Une fois collectées, les boues doivent subir différents traitements avant leur rejet. Ces traitements ont trois objectifs majeurs : la réduction du pouvoir fermentescible, la réduction de la masse des boues et la réduction des risques sanitaires. La figure 1, représente une ligne de traitement des boues. La filière de traitement des boues comprend quatre étapes principales :

- L'épaississement
- La stabilisation
- Le conditionnement
- La déshydratation

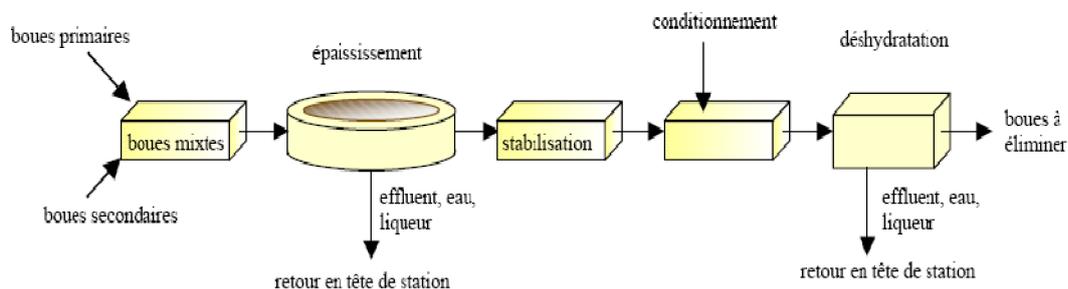


Figure 1 : Schéma de principe d'une filière de traitement des boues (OTV, 1997)

3.1. L'épaississement

Cette étape permet de concentrer les boues, et de réduire leur volume. Selon la nature des boues, cette opération se fait généralement gravitaire (statique) ou par flottation. Elle peut aussi être réalisée par égouttage ou centrifugation (OTV, 1997).

3.2. La stabilisation

Cette étape permet de réduire le pouvoir fermentescible des boues, ainsi que les nuisances olfactives. Il existe trois grands types de stabilisation biologiques (digestion aérobie ou anaérobie, compostage), la stabilisation chimique (chaulage, stabilisation aux nitrites, oxydation) ou la stabilisation physique (séchage poussé) (Degremont, 1989;OTV, 1997). Les techniques biologiques permettent de dégrader les matières organiques, et conduisent à une réduction de la matière.

3.3. Le conditionnement

Cette étape permet de préparer les boues à la déshydratation. En effet, afin de libérer l'eau contenue dans les boues, il est nécessaire de réduire la stabilité des colloïdes et de faciliter leur agrégation. Les procédés utilisés peuvent être physique (traitement thermique) ou chimiques (ajout de sels de fer ou d'aluminium, de la chaux ou des polymères). Le traitement thermique à 150°C-200°C pendant 30 à 60 minutes est le plus efficace pour réduire l'hydrophile particulaire (Degremont, 1989), mais il induit un fort problème d'odeur (Juste, 1979)

3.4. La déshydratation

Cette étape permet de réduire le volume des boues en éliminant le maximum d'eau. Il existe trois grands types de déshydratation : la déshydratation par filtration (sous pression, sur bandes), la déshydratation par évaporation (lit de séchage) et la déshydratation par centrifugation.

4. Caractérisation de la boue

Pour connaître le comportement de la boue avec tel ou tel type de traitement, une caractérisation poussée s'impose. Pour cela, de nombreux paramètres doivent être pris en compte.

4.1. Matière sèche (MS)

C'est le paramètre généralement mesuré. La concentration en matière sèche permet de connaître la quantité de boue à traiter, quelque soit son niveau de concentration dans la filière de traitement (OTV, 1997). La détermination de la teneur en matière sèche s'effectue à l'étuve à 105° C ou par infrarouge.

4.2. Matière en suspension (MES)

Si les matières sèches, sont faciles à déterminer sur les phases concentrées, il n'en va pas de même pour les phases clarifiées (sur verses, filtrats, centrât ...) et les concentrations de matière sont beaucoup plus fiables. Dans ce cas, la procédure de mesure des MES par filtration sur membrane est plus appropriée. Il convient alors d'être prudent dans le calcul du rendement de capture qui doit être exprimée de préférence en fonction des matières en suspension (il est possible de déterminer expérimentalement la relation entre les matières en suspension et les matières sèche) (Mani, 2005)

4.3. Matière volatile

On considère généralement que MV égale approximativement à la matière organique. Les boues urbaines possèdent une fraction volatile élevée (70 % en moyenne). On mesure sa teneur par la différence entre le poids de boues sèches (105°C) et celui de cette même boue après chauffage jusqu'au poids constant à (550°C), cette teneur varie de 60 à 85% de matière sèche (OTV, 1997).

5. Indice de boue

Ce paramètre est relié indirectement aux matières sèches et volatiles, dépend du temps de séjour dans le bassin biologique. Sa bonne connaissance est importante pour l'épaississement, plus l'indice de boue est faible, plus la boue est facile à épaissir (OTV, 1997).

6. Caractéristiques chimiques des boues

6.1. Demande chimique en oxygène(DCO), demande biologique en oxygène(DBO), pouvoir tampon(PT), Azote Total Kjeldhal (NTK):

Leur connaissance est secondaire sur la chaîne de traitement des boues. En revanche, il est important en tête de la file d'eau. Ceux-ci peuvent couramment représenter 5 à 25% de la charge entrante, selon le type et les performances du traitement des boues (Ladjel, 2004).

6.2. Carbone, hydrogène, oxygène, azote, soufre (C .H.O.N.S)

Ces paramètres permettent d'estimer les performances primordiales en incinération. Il existe de nombreuses corrélations ou modes de calcul du PCI. Par exemple, il est possible d'avancer la corrélation, en exprimant le PCI en KWH/Kg de matière sèche par rapport à la fraction volatile :

- $PCI=0,048 FV+1,032$
- TP, pH, potentiel d'oxydoréduction (Eh), conductivité électrique, ces paramètres n'ont pas de valeur prédictible en traitement de boues. Ils Permettent cependant, de mettre en évidence un dysfonctionnement, tel que le vieillissement d'une boue qui dégrade les performances de la filière (Sommers, 1977; Kirkham, 1982; Jokien, 1990; Sommelier et al., 1996).

6.3. Alcalinité CaCO₃ (AGV)

Il s'agit de simples paramètres de contrôle du bon fonctionnement d'une opération de digestion.

6.4. Eléments traces métalliques

Quelque soit la destination finale des boues, la connaissance des teneurs en éléments traces métalliques est primordiale. Les métaux suivants doivent être identifiés: Pb,Cu,Ni,As,Cd,Hg et éventuellement Ti(Thallium) (Baumont et al., 2005).

6.5. Graisse

Généralement exprimées en matières extractibles à l'Hexane (MEH), elles sont intégrées aux MV. Elles sont dans toutes les opérations biologiques ou de combustion, il peut être intéressant de connaître précisément le taux de graisse pour prévenir un colmatage

(tuyauterie, capteur), un croutage (digesteur) ou une déficience de transfert d'oxygène (stabilisation anaérobie) (Kirkham, 1982)

6.6. Fibres

Les fibres (matières lignocellulosiques carbonées) pouvant réduire la résistance spécifique de la boue et par conséquent améliorer sa déshydratabilité. En revanche, elles constituent une partie non négligeable de la fraction non dégradable des MS dont il faut tenir compte, en digestion par exemple.

6.7. Agents pathogènes

Les agents pathogènes présents dans les eaux résiduaires sont principalement associés aux matières en suspension, et se retrouvent donc en grande majorité dans les boues. Il s'agit de virus, bactéries et parasites (protozoaires, helminthes).

La teneur des boues en agents pathogènes est caractérisée en fonction de la présence des plus résistants d'entre eux, qui sont donc jugés représentatifs du risque à estimer : les Entérovirus (virus), salmonelles (bactéries) et œufs d'helminthes viables (parasites) (OTV, 1997). Les micro-organismes pathogènes : les boues contiennent des milliards de micro-organismes vivants qui jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration. Seul une infime partie est pathogène (virus, bactéries, protozoaires, helminthes, etc.) et provient en majorité des excréments humains ou animaux (Sahstrom et al., 2004).

7. Composition des boues

La composition des boues varie en fonction de l'origine des eaux usées, de la période de l'année et du type de traitement et de conditionnement pratiqué dans la station d'épuration (Werther et Ogada, 1999 ; Jarde et al., 2003 ; Singh et al., 2004).

Les boues résiduaires représentent une matière première composée de différents éléments matière organique, éléments fertilisants (N, P, K...etc). Mais surtout d'éléments tracs métalliques, d'éléments traces organiques et d'agents pathogènes (Amir, 2005).

7.1. La matière organique

Les boues sont très riches en matières organiques, sa teneur est de 50 à 70% de la matière sèche, pour les boues issues de traitement physico-chimiques (Juste,1995). Il est à noter que la nature de la matière organique qui compose les boues est fortement différente de

celle du fumier, car dans les boues on constate que leur matière organique est constituée par les micros –organismes qui se multiplient et décomposent celle-ci (Juste, 1995).

La matière organique des boues est constituée de matière organiques éliminées par gravité dans les boues primaires, des lipides (6 à 19 % de matière organique), des polysaccharides, des protéines, 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 (digestion, stabilisation)(Grimaud, 1996)

7.2. Eléments fertilisants

Les boues peuvent couvrir, en partie ou en totalité, les besoins des cultures en azote, phosphore, magnésium, calcium et soufre ou peuvent aussi corriger des carences à l'exception de celle en potassium (Jarde, 2003)

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

7.3. Le carbone

Le carbone organique présente la plus grande partie de la matière organique des boues résiduelles, il s'agit en grande partie de corps microbiens ou des produits d'excrétion de ces derniers (polysaccharides) qui confèrent à l'ensemble un aspect mucilagineux.

On a identifié dans des digesteurs (bassin de stabilisation) de boues ; des graisses de cire, des huiles, des polysaccharides et des composées protéiniques.

Selon (Kirkham, 1974) la teneur en carbone passe de 1,2 à 1,4% sur un sol de limon ayant reçu en quatre ans 309 tonnes/hectare de la matière sèche de boues digérées. Enfin l'épandage des boues à différentes doses sur un sol sableux augmente le carbone organique de l'ordre 1,89 à 2,32% pour la dose de boue 40T/ha (Ouslati, 1998).

7.4. L'azote

L'azote est un facteur limitant de la production agricole, sa disponibilité détermine le rendement, c'est l'élément majeur de la production végétale empreinte au sol, et c'est probablement sur la nutrition azotée que se justifie un certain nombre de besoins nutritifs. La teneur en azote des boues varie de 1 à 8% de la matière sèche, alors que les boues liquides ont

des teneurs qui oscillent de 7 à 8%. En outre, la fraction minérale, $N-NH_4^+$ est inférieure à 10% de l'azote total (Kockmann, 1996).

Par ailleurs, les teneurs en azote des boues décroît avec leur âge, ceci s'explique par le fait du lessivage des nitrates (NO_3^-) et une volatilisation de l'azote ammoniacale due à l'activité des bactéries dénitrifiant lors de stockage (Ademe, 1996). Les boues chaulées se caractérisent par une teneur en azote totale de l'ordre de 2,5% MS pour les boues chaulées solides de filtre presse et physico-chimique, et de 3,4 % de MS pour les boues pâteuses chaulées (Grimaud, 1996).

7.5. Le phosphore

Le nombre de travaux consacrés à l'étude de la disponibilité pour les plantes de l'acide phosphorique contenu dans les boues, est beaucoup plus restreint que celui ayant trait à l'appréciation de l'assimilabilité de l'azote de se même déchet. Il faut reconnaître que les résultats des expériences culturales réalisées un peu partout dans le monde sont souvent contradictoires, le phosphore des boues étant considéré comme assimilable ou beaucoup moins assimilable que celui d'un engrais phosphaté minéral considéré comme soluble. A vrai dire, nous ne connaissons que peu de chose sur les formes du phosphore qui existent dans les boues 5 à 6% s'y trouveraient sous forme de phosphate organique (principalement inositol-phosphate), le phosphore minéral étant surtout constitué par des associations avec les composés de fer, de l'alumine, de calcium ou de magnésium qui abondent dans la plupart des boues. La biodisponibilité du phosphore peut être définie comme son aptitude à être prélevé par les plantes. Parmi les processus qui interviennent dans le prélèvement du P par la plante à partir d'une boue est la complémentation de l'offre en P du sol par l'offre en P de boue pouvant passer en solution par désorption, dissolution ou minéralisation (Hugues, 1999 ; Guivarch, 2001).

7.6. Le potassium

C'est l'élément le moins représenté dans les boues dix fois moins que la teneur en azote. Le déficit en potassium des boues résulte de solubilisation et dans son entrainement dans l'effluente épuré. Par conséquent, les apports en potassium par les boues sont pratiquement négligeable. Mais la minime quantité contenus semble être rapidement assimilable (Sabeyet , 1975).

Le tableau (01) tiré du courrier de l'environnement de l'INRA (Dudkowski, 2000), indique à titre d'exemple le pourcentage des éléments fertilisants ainsi que le pourcentage de la matière organique contenue dans les boues.

Tableau 01: Composition générale des boues d'épuration (Dudkowski, 2000).

Matière sèche (MS)	2 à 95% selon la siccité
Matière organique	50 à 70 % de la MS (30% si boue chaulée)
Azote	3 à 9% de la MS
Phosphore	4 à 6 % de la MS
Potasse	< à 1% de la MS
Magnésie	< à 1% de la MS
Chaux	4 à 8% de la MS (25% si boue chaulée)
Carbone/Azote	5 à 12

8. Teneur des boues en bases échangeables

8.1. Le calcium et le magnésium

Les boues contiennent du calcium et de magnésium en quantité appréciables. Le calcium s'y trouve sous forme échangeable et organique (Sudres, 1990). La floculation ou la stabilisation par la chaux conduit à des boues encore plus riches en CAO 10 à 30% (Robert et Comber, 1993). Les teneurs en calcium sont de l'ordre 0,2 à 1,5 de CaO et de 0,30 à 1% pour le magnésium (Abadou, 2001).

8.2. Le sodium

Le niveau de sodium dans les boues est relativement important ; cependant il est rapidement entraîné par le lessivage (Benmouffouk, 1980). Plusieurs auteurs, fixent les doses d'épandage des boues en fonction du S.A.R (Sodium Absorption Ration) et de conductivité électrique (C.E à 25°C). Les

8.3. Les éléments traces métalliques

Les ETM sont naturellement présents dans les sols et certains même sont indispensables aux plantes, ils font partie des oligo-éléments. Des expérimentations de longue durée en France et dans d'autres pays tel que le Canada, ont permis de montrer que les taux de transfert des ETM du sol vers les végétaux sont inférieurs à 1% des quantités apportées aux sols. Mais selon la nature des eaux épurées, la teneur en certains éléments dans les boues peut

s'élever considérablement. Des apports répétés de boues par épandage pourraient, à long terme, provoquer dans les sols des accumulations incompatibles avec la qualité des cultures (Syprea, 2000).

Tableau 2 : Teneurs des boues en éléments trace métalliques (SYPREA,2000)

ETM considéré	Valeur minimale	Valeur maximale	Valeur –limité réglementaire (ppm)
Cadmium	0,4	195	15
Chrome	16,5	925	1000
Cuivre	2, 3	2730	1000
Mercure	0 ,17	18	10
Nickel	13,6	216	200
Plomb	28,5	1638	800
Sélénium	1,6	5,3	/
Zinc	126	7246	3000

9. Les types de boues à épandre

Les différents types de boues résultent de la combinaison de plusieurs critères : Nature de l'effluents (urbaine, abattoir, papeterie);caractère de traitement des eaux (primaire, physico-chimique, biologique);procédé de stabilisation (aérobie, anaérobie, chaulage, compostage) ; état physique des boues (liquide, pâteuse, physique granulé);type de matériel de déshydratation. Quatre grands types des boues sont recyclés en agriculture, le classement se réfère à leur état physique ou à leur mode de stabilisation (Degremont, 1989).

9.1. Les boues pâteuses

Les boues pâteuses dans le cas des petite stations de taille moyenne, ce type de boue (environ 35% des tonnages de matière sèche) est difficile à manipuler et à stocker, surtout il favorise la fermentation anaérobie (d'où un problème d'odeur). On applique de plus en plus à ces boues un traitement complémentaire la chaux ou le compostage (Grulois, 1996)

9.2. Les boues liquides

Les boues liquides sont celles de petites stations en zones rurales ou péri-urbaines (environ 15% des tonnages de matière sèche de boue). Ces boues se stockent et se manipulent à la façon de litière de porc ou de bovin (Grulois, 1996)

9.3. Les boues chaulées

Les boues chaulées sont celles des stations moyenne ou de grande taille, selon le procédé utilisé et à la dose de chaux incorporée, ces boues sont de consistance pâteuse ou solide, ces types des boues est fréquente en France (environ 30% de tonnage de matière sèche de boue sont chaulées) (Grulois, 1996)

9.4. Les boues compostées

Les boues compostées sont dans le cas des stations de taille moyenne en générale. Les compostages appliqués aux boues pâteuses, est un procédé de fermentation aérobie qui permet la stabilisation, l'hygiénisation, et le séchage biologique. La matière organique de la boue est dégradée et stabilisée pour former un compost riche en humus (Degremont, 1989).

10. La destination des boues

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

10.1. Mise en décharge

Cette voie d'élimination traite de la même façon les déchets ménagers et les boues des stations d'épuration. La mise en décharge des boues que ce soit dans des sites autorisés ou des centre d'enfouissement techniques cause des nuisances environnementales directes (olfactives, infiltration des polluants dans le sol et les nappes). En France, en 1997, environ 25% de la production de boues étaient envoyés en décharge (OTV, 1997) et depuis le 1^{er} juillet 2002, cette voie d'élimination est interdite par la législation. Seuls les déchets ultimes, c'est-à-dire des déchets qui ne sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, sont désormais acceptés en centre d'enfouissement technique (lino 92-646 du 13 juillet 1992). Cependant, certaines boues sont considérées comme des déchets ultimes, notamment les boues chargées en métaux lourds, refusées pour l'épandage.

10.2. L'incinération des boues

Elle réalise la destruction de la matière organique des déchets par combustion à haute température (+500 °C) produisant des fumées et des matières minérale résiduelles nommées cendres. Dans l'objectif d'une valorisation énergétique des déchets, la chaleur produite est récupérée sous forme de vapeur ou d'électricité pour le fonctionnement du four lui-même, pour le chauffage urbain ou industriel (Prevot, 2000). Cependant, malgré l'intérêt de ce procédé pour une réduction importante des volumes de déchets, il présente des contraintes principalement liée à un investissement très couteux. 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 ou une unité d'inertage. Cette technique reste aussi néfaste de point de vue écologique et environnemental puisqu'elle contribue au gaspillage de matières organique utiles pour le sol, à la diffusion de gaz très toxiques (NO, NO₂, CO, SO₂, dioxine, etc.) (Mininni et al., 2004 ; Nammariet al., 2004) qui ont fait l'objet d réglementations spécifiques.

Cette méthode consiste à bruler les boues dans un incinérateur, seules ou avec des ordures ménagères. Après oxydation thermique, il reste des sous produits minéralisés qui, selon leur nature, peuvent être incorporés dans certains bétons, utilisés pour les soubassements des routes ou sont mis en décharge. Du fait des couts prohibitifs de transport, les boues traitées sont incinérées principalement en zone urbaine (Sommelier, 1996). Cependant, cette technique demande de fortes quantités d'énergie et des boues ayant une forte siccité. En fonction de leur siccité, les boues ne sont pas incinérées de la même façon. En 1997, en Europe, environ 15% de la production de boues étaient traités par oxydation thermique (OTV, 1997).

10.3. Épandage sur les terres agricoles

Une fois collectées, les boues doivent subir différents traitements avant leur rejet. Ces traitement ont trois objectifs majeurs : la réduction du pouvoir fermentescible, la réduction de la masse des boues et la réduction des risques sanitaires. En effet, les boues d'épandage apportent des éléments fertilisants au sol (minéraux, matière organique). Elles peuvent donc être valorises par épandage agricole. En effet, de par leur composition, les boues permettent de couvrir une partie des besoins des cultures en azote, en phosphore, en calcium, en magnésium et en oligo-éléments. En 1997, en France, environ 60% de la production de boues

étaient valorisés en agriculture. La réglementation impose des traitements, fixe des limites quant à la concentration maximale de certains polluants (métaux lourds par exemple) et interdit ou limite l'épandage sur certaines cultures (Ladjel, 2004), elle est de plus en plus controversée, compte tenu de l'opinion publique, des difficultés de stockage et de manutention, un problème d'odeurs et des risques sanitaires et environnementaux (présence d'agents pathogènes et de composés toxiques). La traçabilité et la maîtrise de la qualité sont donc essentielles. Par exemple, il faut vérifier les concentrations en micropolluants (éléments traces métalliques et organiques) ainsi que les doses annuelles apportées tenir compte d'une certaines fréquences des épandages (Degremont, 1989).

11. La valeur agronomique des boues

L'intérêt des boues pour l'agriculture et les sols est lié au respect de plusieurs critères.

11.1. La valeur fertilisante des boues

La valeur fertilisante des boues permet de couvrir une partie des besoins des cultures en azote, phosphore, magnésium et calcium. Elle peut également corriger des carences en oligo-éléments (Zinc, Cuivre ...). Cet intérêt est variable selon pH des sols et les caractéristiques des différents types de boue (Kirkham, 1982)

11.1.1. La valeur fertilisante azotée des boues

La valeur fertilisante azotée des boues dépend de leur richesse initiale en azote ammoniacale, mais aussi et surtout de l'aptitude de l'azote organique qu'elles contiennent à être minéralisé dans le sol (Grimaud, 1996).

11.1.2. Teneur azotée des boues

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).

11.1.3. Forme d'azote dans les boues

Dans les boues, l'azote est présent sous deux formes : l'azote organique, l'azote minéral (N-NH_4^+). Les boues ne contiennent généralement pas d'azote nitrique (N-NO_3^-) ou d'azote nitreux (N-NO_2^-), sauf à l'état de traces.

La proportion d'azote ammoniacal ($N-NH_4^+$) par rapport à l'azote total est essentiellement fonction du traitement des boues (épaississement, déshydratation, séchage, chaulage, compostage). Toutefois, pour un type de boue donné, la composition initiale en azote et le rapport N total/N ammoniacal peuvent évoluer au cours du stockage. Au niveau de la station d'épuration, ils varient aussi selon les fluctuations de charge et de composition des effluents admis (Grimaud, 1996).

11.1.4. Le rapport C/N des boues

Le rapport C/N des boues permet d'apprécier qualitativement la capacité de minéralisation de l'azote organique contenu dans les boues. Il sera utilisé pour classer les boues dans les différentes catégories de fertilisants organiques selon le Code de Bonnes pratiques Agricoles conditionnant les périodes d'aptitude à l'épandage (Grimaud, 1996).

11.1.5. Facteurs de variation de la teneur des boues en azote

L'azote des boues peut être soumis à différents facteurs de transformation biologique et physico-chimique dans les sols : minéralisation de la fraction organique, immobilisation de la fraction minérale, nitrification ou volatilisation de l'azote ammoniacal, dénitrification de l'azote nitrique. Ces différents processus de transformation de l'azote des boues sont essentiellement liés à l'activité biologique des micro-organismes et peuvent se dérouler simultanément. De nombreux facteurs influencent ces transformations dans le sol et conditionnent l'efficacité de l'azote des boues (Decau, 1968).

11.1.6. Evolution de l'azote des boues dans le sol

L'azote des boues évolue dans le sol sous l'action de différents processus de transformation biologique et physico-chimique : minéralisation de la fraction organique, immobilisation et éventuellement réorganisation de la fraction minérale, nitrification ou volatilisation de l'azote ammoniacale, dénitrification de l'azote nitrique. Ces différents processus de transformation de l'azote des boues sont essentiellement liés à l'activité biologique des micro-organismes et nombreux facteurs, notamment les facteurs pédoclimatiques influencent ces transformations dans le sol et conditionnent l'efficacité de l'azote des boues (Chaussod, 1983 ; Cadot, 1993 in Grimaud, 1996). Toutefois, il est admis, qu'une tonne de matière sèche de boue contient 40 à 60 Kg d'azote dont 30 à 60% peuvent être minéralisés la première année. A noter que l'azote minéral des boues (essentiellement ammoniacales) est rapidement assimilable par les plantes, alors que la fraction contenue dans

la matière organique n'est assimilable que partiellement et au rythme de la minéralisation de cette dernière (Satin, 1999).

11.1.7. Efficacité de l'azote des boues

La disponibilité de l'azote des boues dépend tout d'abord des caractéristiques physico-chimiques de chaque type de boues : richesse en azote, forme d'azote, rapport C/N, stabilité de l'azote organique ; ainsi, pour un type d'effluent donné. Les différents traitements subis par les boues (stabilisation, conditionnement chimique, déshydratation) constituent les facteurs essentiels de variation de la disponibilité en azote sans qu'il soit toujours possible de distinguer l'influence de chacun de ces facteurs considérés isolément (Bourgois et al., 1996 ; Grimaud, 1996). Toutefois, il est reconnu, que l'efficacité réelle de l'azote pour un type de boues donné va dépendre pour une part non négligeable des conditions de traitements.

11.1.8. Estimation de la valeur azotée des boues

Pour déterminer la valeur fertilisante azotée des boues résiduelles, deux approches complémentaires ont été utilisées : l'aptitude à la minéralisation de l'azote a été appréciée principalement en milieu contrôlé (laboratoire, serre) pour caractériser le comportement des grands types de boues, tandis que des expérimentations en plein champ ont été mises en place pour prendre en compte les facteurs pédoclimatiques et les systèmes de culture. Les résultats de ces nombreuses expérimentations ont permis d'établir des corrélations entre les caractéristiques des boues, la disponibilité de leur azote et le comportement des végétaux cultivés en leur présence (Grimaud, 1996).

11.1.9. Devenir de l'azote des boues après épandage

Les formes de l'azote ammoniacal, nitrique et uréique dans les boues après épandage se transforment à des vitesses variables, déterminées par l'activité microbologique du sol. La forme uréique se transforme par hydrolyse en forme ammoniacale. Celle-ci peut être adsorbée et retenue temporairement sur le complexe argilo-humique du sol ou utilisée par les micro-organismes du sol ou par la plante. La forme ammoniacale peut aussi évoluer rapidement vers la forme nitrique dès que la nitrification est active dans un sol chaud, aéré et humide. La forme nitrique est entièrement libérée dans la solution du sol et alimente préférentiellement la plante. Non retenue par le sol, elle descend en profondeur en cas de fortes pluies succédant à un apport. L'évolution des formes d'azote dans le sol peut s'accompagner de pertes d'azote par volatilisation et par lessivage (Grimaud, 1996).

12. La valeur humique

L'apport de boues compostées contribue au maintien du stock humique des sols, Les boues non compostées ne possèdent qu'une partie de la valeur agronomique; elles ont une valeur fertilisante, mais pratiquement pas de valeur humique. Seul le compost possède ces deux propriétés (Mani, 2005).

13 .La valeur neutralisante

Sur un sol acide (pH compris entre 5 et 6), l'épandage de boue chaulée permet de corriger le pH du sol. Sur un sol basique, l'épandage de boue acide (stabilisées aux nitrites) peut constituer une bonne solution. La constance du produit, L'épandage étant réalisé à doses précises, il est essentiel de garantir la régularité de composition des boues pour répondre parfaitement aux besoins des cultures (Djebela, 2003).

14. Utilisation agricole des boues

La valorisation agricole des boues résiduares peut être considéré comme le mode de recyclage le plus adapté pour rééquilibrer les cycles bio géochimique (C, N, P, etc.) pour la protection de l'environnement et d'un très grand intérêt économique. Elle vise à ménager les ressources naturelles et à éviter tout gaspillage de matière organique dû à l'incinération ou à l'enfouissement dans les décharges (Lambkin et al., 2004 ; Bustamanate et al., 2012).

14.1. Réglementation pour l'utilisation en épandage des boues

A l'heure actuelle, l'épandage agricole des boues reste en Europe la principale filière d'élimination. En 2002, environ 62% des boues d'épuration domestiques étaient valorisées en agriculture en France par ce biais. L'épandage des boues ne peut être pratiqué que si celles-ci respectent le principe « d'intérêt agronomique » et soient exemptes de grands teneurs en polluants inorganiques ou organiques. L'application des boues doit suivre des règles d'épandage décrites par l'arrêté du 8 janvier 1998. Cet arrêté impose des distances minimales (Cherrared, 2013) :

✓ L'épandage vise à éviter des berges, des sources, des puits, des habitations en évitant une percolation rapide vers les eaux superficielles ou souterraines ou tout ruissellement ;

✓ L'isolement d'au moins 3 mètres vis-à-vis des routes et fossés.

Il interdit l'épandage :

✓ Sur des sols gelés de forte pente ;

✓ Pendant les périodes de forte pluviosité et doit être en dehors des terres régulièrement travaillées (maraichage).

Il définit les délais minima :

- Avant la remise à l'herbe des animaux, et de culture maraichères.
- la durée de dépôt (inférieure à 48 heures), et seule sont entreposé les quantités des boues nécessaires à la période d'épandage considérée.

Cependant, des problèmes et des obstacles économique ou techniques à l'application des règles d'épandage surgissent, ceux-ci comprennent les possibilités de stockage et de transport, l'insuffisance ou l'inadéquation des techniques de stabilisation et de déshydratation. D'autre part, du point de vue hygienisation, la capacité d'épuration des sols est limitée dans certaines conditions.

14.2. Risque liés aux boues résiduaires

Les boues d'épuration peuvent contenir des micro-organismes pathogènes et des contaminants chimiques. Ces éléments constituent des dangers, tant sanitaires qu'environnementaux. Il existe donc un risque lié à l'épandage agricole de boues d'épuration. Cependant, en 30 ans, aucun accident portant atteinte à la santé publique n'a été recensé (Chassande et al., 2000). Il convient donc de rester vigilant et de bien connaître les risques sanitaires et environnement liés aux boues.

15. Utilisation de boues traitées

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

La stabilisation par chaulage a connu un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de son efficacité vis à vis de la maîtrise des nuisances olfactives et de l'intérêt calcique des boues chaulées pour les sols acides (Ouslat, 1998). Les procédés de stabilisation biologique sont des techniques relativement peu onéreuses dans leur mise en œuvre. Le principe général des traitements biologiques est d'exploiter certaines activités microbiennes en les stimulant de manière contrôlée afin de réduire les nuisances potentiels des déchets (odeur, caractère polluant au sens large du terme) et de les valoriser sous forme énergétique ou sous forme de matériau.

16. Les sols alluviaux

16.1. Définition

Un sol alluvial est un sol azonal, formé à partir de dépôts alluvionnaires relativement récents. Il s'agit d'un sol du type (A) C ou AC formé sur matériaux marins, fluviaux, ou lacustres ; généralement humide, à horizon (A) faiblement développé ou même absent. Le sol ne présente donc pas de développement de profil. Les matériaux grossiers, s'ils sont présents, ils sont roulés (Lozet et Mathieu, 2002).

16.2. Caractères généraux

Les sols alluviaux se distinguent d'une part par leur position géomorphologique et leur origine, d'autre part par leur régime hydrique, ils ont en commun des caractères particuliers : absence de structure, texture hétérogène, variable d'un point à un autre, grande porosité et bonne aération superficielle, absence de différenciation du profil (Duchaufour, 1977).

Ils sont en générale soumis à une alternance de sécheresse et d'humidité provoquée par les oscillations de la nappe d'où dépend cette alternance qui favorise leur oxygénation qui empêche les phénomènes de réduction et provoque la minéralisation rapide de matière organique. La formation de l'humus est alors limitée (Duchaufour, 1977).

D'après (A.F.E.S., 1995), les sols alluviaux fluviaux peuvent être relativement homogènes ou présentent une grande hétérogénéité minéralogique et granulométrique qui reflète d'une part la diversité des matériaux géologiques et pédologiques situés en amont du bassin versant, et d'autre part la circonstance des alluvionnements, raison pour laquelle les sols alluviaux peuvent être calcaire ou acides, sableux, limoneux ou argileux ; peu altérés ou au contraire altérés et assez riche en fer.

Selon (Duchaufour, 1983) et (AFES, 1995), les sols alluviaux sont des dépôts récents des vallées, très souvent inondées par les crues. Ils ont en commun trois caractéristiques

1. Présence d'une nappe phréatique permanente à forte oscillation. Cette nappe étant renouvelée constamment par les inondations.
2. Hétérogénéité fréquente de texture et de granulométrie, se manifestant par des variations brutales, aussi bien latéralement que verticalement au sein du profil : en règle générale, un matériel fin (limon, ou limon argileux homogène) d'épaisseur très variable, repose sur un lit de sables ou graviers
3. Humification généralement activée par les conditions favorables de l'humidité du sol, sauf dans le cas où le milieu est trop sec.

16.3. Formation et évolution des sols alluviaux

Les sols dans les rivières sont affectés par le niveau d'eau en écoulement, la perméabilité et la position par rapport au lit, ainsi que la vitesse d'écoulement. Les fleuves et rivières ayant un débit très irrégulier et venant des zones plus humides, débordent et constituent dans les plaines basses des dépôts alluviaux souvent épais et d'un degré de fertilité élevé (Lavoie et al., 2006).

Les alluvions déposées sur les côtés des rivières diffèrent dans leurs taille et texture en fonction de la vitesse de l'eau et la position par rapport à l'écoulement principal. La qualité des alluvions dépend de la qualité des roches du bassin versant ainsi que celle des sols parcourus par la rivière (Lavoie et al 2006).

Au niveau de la plaine d'inondation, la sédimentation sont des dépôts par excès de charge et reflètent l'influence importante des conditions locales. Les sols alluviaux peu évolués présentent en fonction du milieu des faciès acides ou neutres à modérément alcalins (Duchaufour, 2001).

Les dépôts alluviaux sont souvent épais d'un potentiel élevé de fertilité et classés en fonction de leur texture et leur perméabilité (Aubert, 1960).

En effet, l'activité de sédimentation des cours d'eau a pour effet de rajeunir les sols et la végétation (Farine et Gerber, 2007).

- ✓ A l'Est : Rdjeaouna ;
- ✓ A l'Ouest : Draa Ben Khedda ;
- ✓ Au Nord: Sidi Naàmane et la vallée de Sébaou ;
- ✓ Au Sud : Ville de Tizi-ouzou et Tala alam.

2. Situation géomorphologique

La commune de Tizi-Ouzou de point de vue géologique est hétérogène, d'où trois types de formations sont citées :

- Les formations alluvionnaires : Sable, gravier et l'argile au niveau des bords des terrasses qui longent l'oued du Sébaou ;
- Les formations de socle Kabyle composé de roches magmatiques et métamorphiques ;
- Les formations sédimentaires : Essentiellement les marnes qui sont imperméables et les grès.

Mis à part sa couche littorale, la commune de Tizi-Ouzou est comprise dans le bassin versant de l'oued Sébaou (Yakoub, 1996).

4. Étude climatologique

4.1. Caractéristiques climatiques

La température et la pluviosité sont les deux éléments principaux du climat

4.1.1. La température

La température est influencée par la topographie du milieu à savoir l'altitude, le relief, la pente et l'exposition, qui interviennent de façon déterminante dans la différenciation au sein d'un même méso climat et/ou de microclimat particuliers (Alainet Robert, 1996).

.

Tableau 3: Les températures moyennes mensuelles des 10 dernières années pour la région de Boukhalfa (2006-2016)

Température (°C)	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
MOYENNE	10,94	10,91	13,15	16,35	19,58	24,03	28,07	27,95	24,26	20,7	15,35	11,69
Températures												
MOYENNE températures maximales	16,24	16,22	19,03	22,62	26,24	31,23	35,95	35,84	31,42	27,61	20,74	16,89
MOYENNE températures minimales	7,27	6,98	8,71	11,41	14,14	17,6	21,26	21,63	18,91	15,82	11,41	8,06

Source : Station ONM de Boukhalfa, Tizi-Ouzou

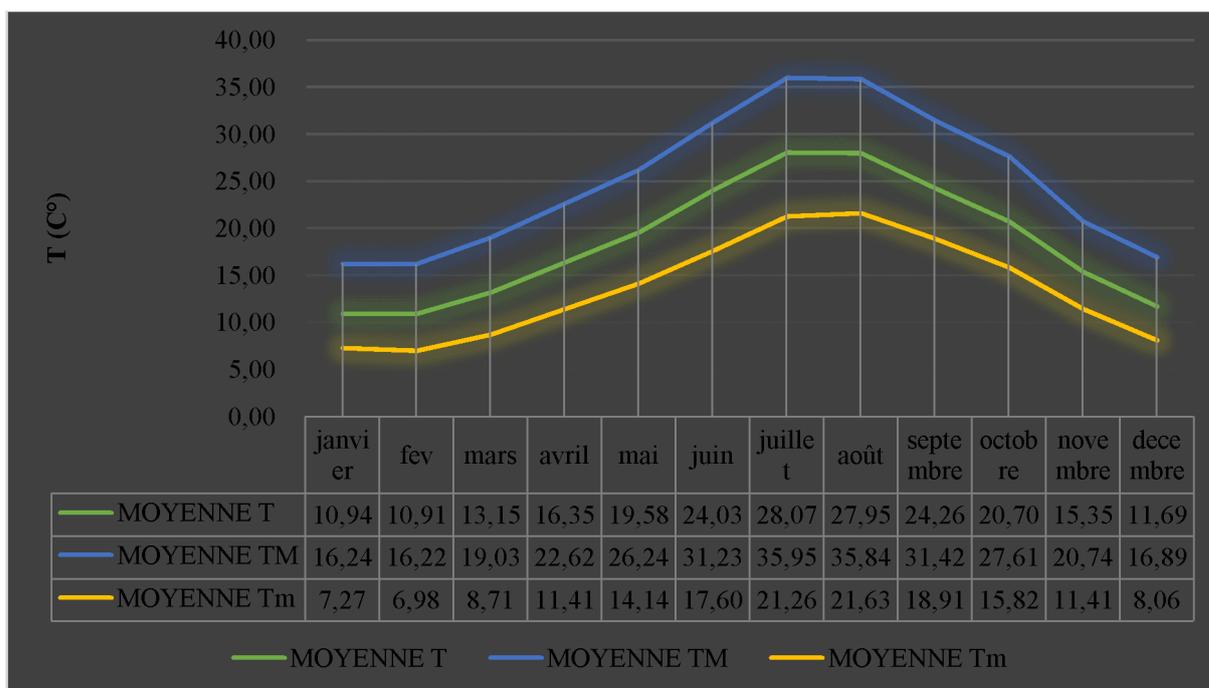


Figure (03) : Moyennes des températures mensuelles en °C pour la période (2006-2016)

Du mois de Janvier au mois de Juillet, les températures moyennes mensuelles augmentent d'une façon significative, par la suite il y a diminution jusqu'au mois de Janvier. Le mois de Juillet est le mois le plus chaud avec une température moyenne mensuelle de 28,07 °C, par contre, le mois de Février est très froid avec une température moyenne mensuelle de 10,91°C.

4.1.2. La pluviométrie

L'eau provient des précipitations (pluie, neige et grêle) et des phénomènes physiques et physiologiques respectivement l'évaporation et la transpiration. En Algérie, la pluviosité augmente avec l'altitude ce qui nous mène à dire que les pluies sont d'origine orographiques. Elles sont aussi soumises à l'influence de la continentalité et la latitude en allant direction de la mer (Seltzer, 1946 ; in Rebai et Bourahla, 2006).

Tableau 04 : les précipitations annuelles de la région de Boukhalfa de 2006 à 2016 en (mm)

Année	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
P (mm)	667.04	1125.25	648.74	1017.77	778.83	852.94	748.02	1053.58	777.24	694.45	700.78

Source : Station ONM de Boukhalfa, Tizi-Ouzou

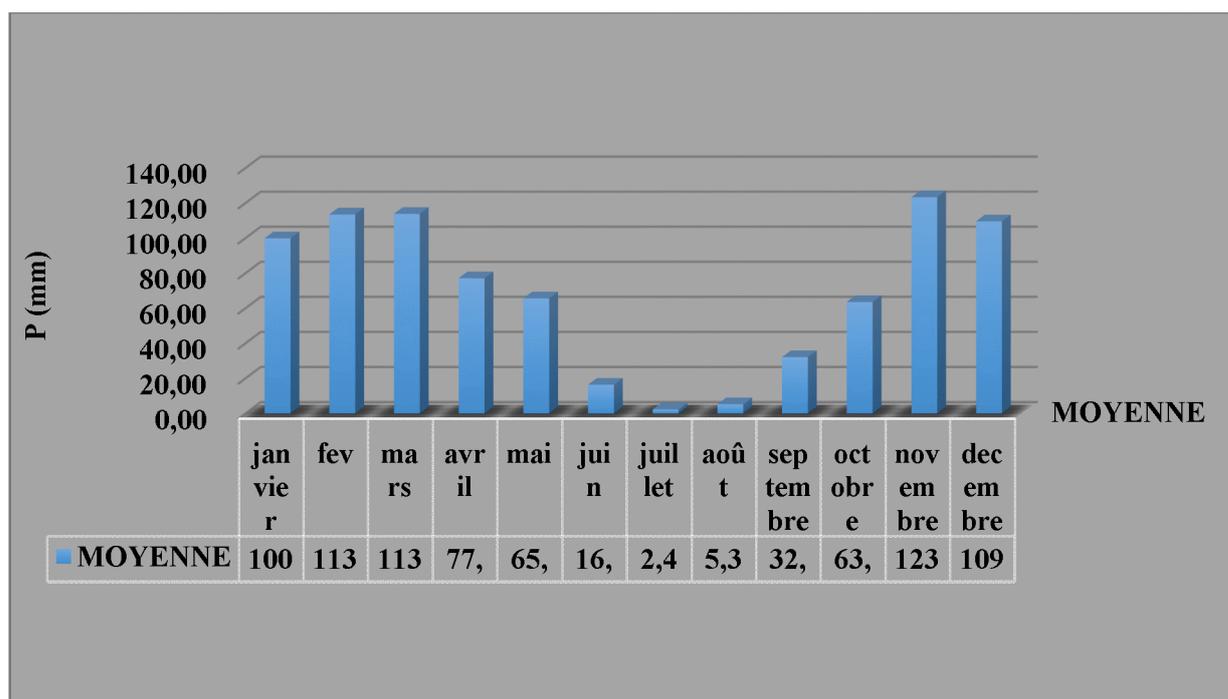


Figure 04: Moyennes des précipitations mensuelles pour la période (2006-2016) en (mm)

4-2. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

En 1957, Bagnouls et Gaussen ont élaboré une classification du climat méditerranéen basée sur les rythmes des températures et des précipitations au cours de l'année (moyennes mensuelles) (Remichi, 1984).

Bagnouls et Gaussen (1953), considèrent un mois est sec quand le total mensuel des précipitations exprimées en millimètre est égal ou inférieur au double de la température moyenne mensuelle exprimée en °C comme l'indique la relation suivante : $P = 2T$.

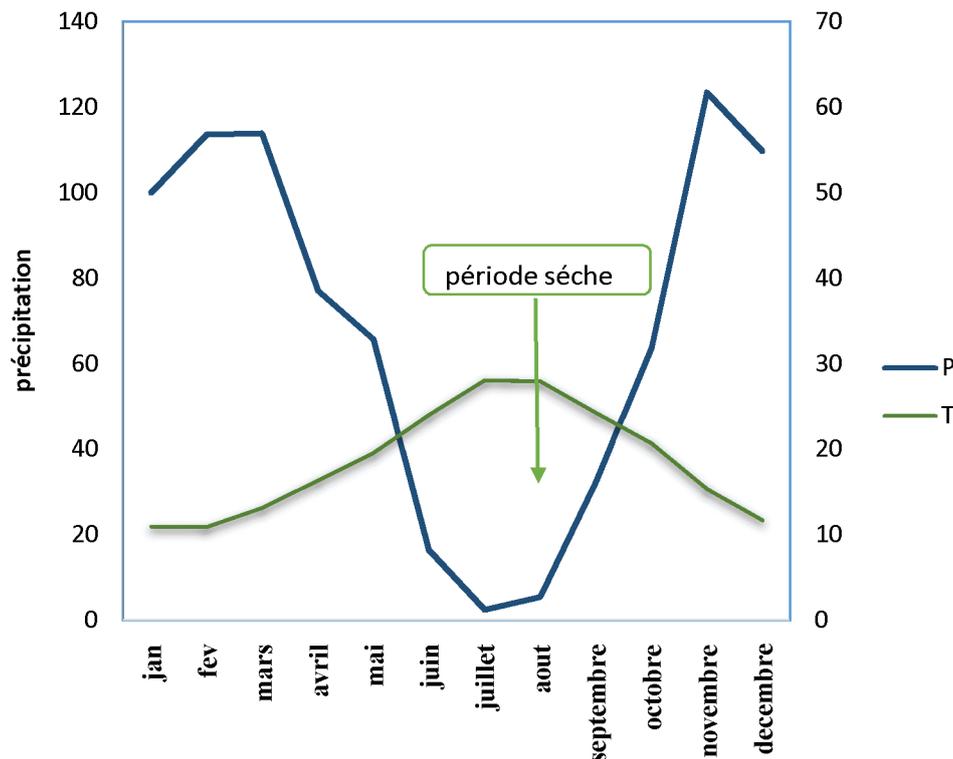


Figure 05: diagramme Ombrothermique de la région de Boukhalfa (période 2006 et 2016)

Durant la période comprise entre 2006 et 2016, le diagramme ombrothermique pour la région de Tizi-Ouzou révèle une saison sèche qui s'étale de la fin du mois de mai jusqu'à la fin du mois de septembre.

4.3. Le Quotient Pluviométrique et Climagramme d'Emberger

Proposé par Emberger (1936), le quotient pluviométrique est un rapport plus précis faisant appel en plus des précipitations P, la moyenne (M) des maximas du mois le plus chaud et la moyenne (m) des minimas du mois le plus froid. L'amplitude extrême (M-m) rend compte de l'évaporation (Sahmoune, 2001).

La proposition d'Emberger a été simplifiée par Stewart en 1969 (in Dekhinat., 2005), pour l'Algérie et le Maroc par la formule suivante :

$$Q2 = 3,41P / (M-m)$$

Avec :

P : Pluviométrie annuelle moyenne (mm),

M : Moyenne des maximas du mois le plus chaud,

m : Moyenne des minimas du mois le plus froid.

Tableau 05 : Valeurs de quotient pluviométrique de la région de Boukhalfa

PA	M	m	M-m	Q2
824,06	35,95	6,98	28,97	96,99

Ce tableau permet de classer la région de Boukhalfa dans l'étage bioclimatique sub-humide à hiver tempéré (Figure 6).

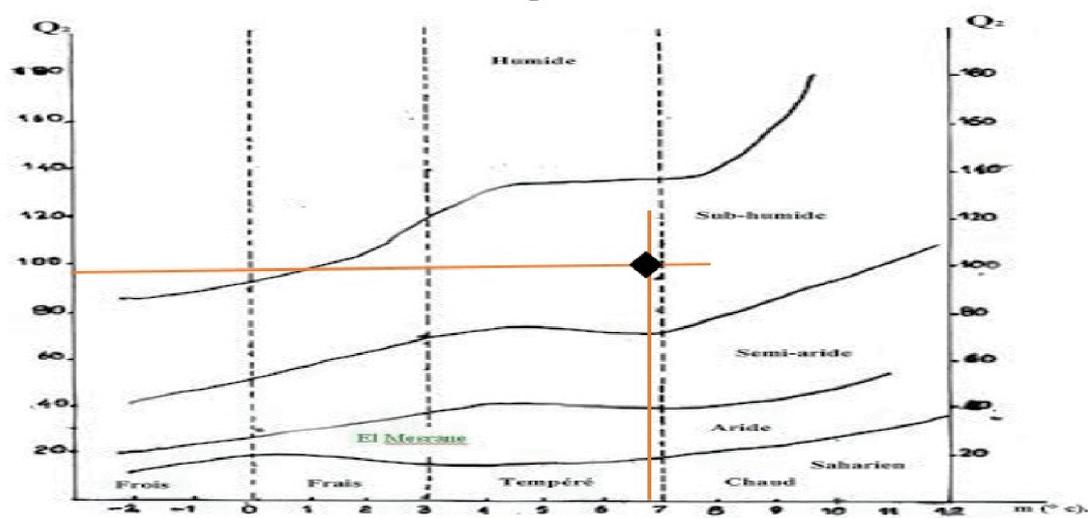


Figure 06 : situation de la région de Tizi-Ouzou dans le climagramme d'Emberger

5. Indice d'aridité

L'indice d'aridité de DE-Martonne est aussi basé sur les valeurs des précipitations et des températures (Huetz de Lempis, 1970 in Sahmoune, 2001). On distingue un indice annuel A et des indices mensuels tels que :

$$A = P / (T+10).$$

Avec :

P : Total des précipitations annuelles (mm) ;

T : Températures moyennes annuelles (°C).

$$\text{Et : } a = 12p / (t+10)$$

Avec :

p : Total des précipitations mensuelles (mm) ;

t : Températures moyennes mensuelles (°C).

Les valeurs sont d'autant plus faibles que le climat est aride.

- Un indice supérieur à 20 indique une humidité suffisante.
- Les valeurs comprises entre 10 et 20 montrent une sécheresse absolue ;
- Inférieur à 10 c'est l'aridité,
- Et au-dessous de 5 le climat est hyperaride (Sidi mansour, 2001).

Tableau 06 : Indice d'aridité mensuel de DE-DEMARTONNE appliqué à Tizi-Ouzou entre 2006 et 2016.

	janvier	février	mars	avril	mai	juin	Juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
T moyennes	10,94	10,91	13,15	16,35	19,58	24,03	28,07	27,95	24,26	20,70	15,35	11,69
Moyenne P	55,5	55,5	66,6	77,24	65,76	16,49	2,42	5,36	32,24	63,69	129,9	109,7
A	57,35	65,23	59,08	35,17	26,68	5,81	0,76	1,69	11,29	24,89	58,47	60,69
	l'humidité est suffisante				l'aridité		hyperaridité		la sécheresse est absolue	l'humidité est suffisante		

Source : Station ONM de Boukhalfa

1. Les boues résiduaires urbaines :

1.1. Le choix de la boue :

Notre choix est basé sur la disponibilité et leur richesse en éléments nutritifs, ils sont prêt de la STEP ouest ce qui nous permet de réduire les couts de transport.

1.2. L'origine :

Les boues utilisées proviennent de la STEP de Boukhalfa.

1.3. Localisation de la station de traitement des eaux polluées de Boukhalfa :

La station d'épuration de Boukhalfa est située à l'ouest de la ville Tizi-Ouzou, sur la rive gauche de l'oued Bouaid à 40 mètres de la RN 12(à proximité de l'autoroute Tizi-Ouzou - Alger) qui diverse vers Oued Sebaou au nord.



Figure 07: Vue générale de la station d'épuration Ouest Boukhalfa

Elle traite les effluents domestiques de la partie ouest de l'agglomération de Tizi-Ouzou, et les déverse dans l'oued Sebaou, Elle s'étale sur une superficie d'un ha environ et possède une capacité de 25000 équivalent habitants correspondant à un volume d'eau usée traitée de $3750\text{m}^3/\text{j}$.

1.4. Caractéristique de la STEP ouest

Tizi-Ouzou est une ville du nord centre du pays, située à 120 Km à l'est d'Alger et à 30 Km des cotes méditerranéennes, et elle compte plus de 100 000 habitants. La STEP ouest

de Tizi-Ouzou (Figure 7), été conçue en 1978, La station mise en marche en 2007 selon le procédé d'épuration à boue activée à faible charge. Elle prend en charge l'assainissement des eaux usées domestiques de la partie Ouest de la ville de Tizi-Ouzou, Le type de réseau est unitaire et l'arrivée des eaux est gravitaire, elle est d'une capacité de 25 000 EH (équivalent habitants) et d'un débit journalier de 3750 m³ (156 m³/h), les eaux usées épurées sont rejetées au niveau de l'oued Sébaou (ONA, 2007). Ces boues résiduares qui proviennent de cette station sont caractérisées chaque année par l'ONA.

1.5. Caractérisation des boues résiduares urbaines

1.5.1. Analyses des boues

A fin de réaliser quelques analyses, nous avons fait un stage d'une durée d'une semaine au niveau de la STEP ouest de Tizi-Ouzou, où nous avons suivi le procédé de traitement des eaux usées et effectué quelques analyses sur la boue produite par la STEP de Boukhalfa.

2. Méthodologie et caractérisation de la boue

La boue utilisée a été prise du lit de séchage. L'échantillon est transporté au laboratoire de l'ONA où il a fait l'objet de quelques analyses.

2.1. Analyses effectuées

2.1.1. La Siccité

La siccité est le pourcentage de MS par rapport au poids de boue humide, Calculé Selon la formule suivante: $Siccité = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100$.

Le mode opératoire est le suivant :

- 1- On introduit dans une coupelle en porcelaine de poids connu (P_0), une quantité de boue.
- 2- On pèse de nouveau la coupelle : c'est le poids (P_1).
 - La différence ($P_1 - P_0$) correspond au poids de boue humide.
- 3- On place la coupelle dans une étuve à 105°C jusqu'à évaporation totale de l'eau.
- 4- On refroidit au dessiccateur puis on pèse c'est le poids (P_2).
 - La différence ($P_2 - P_0$) détermine le poids de MS.

2.1.2. La matière sèche (MS)

La concentration en matière sèche (figure 8) permet de connaître la quantité de boue, quel que soit son niveau de concentration dans la filière de traitement, On obtient par déshydratation. Le protocole consiste à :

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

Par la suite, calculer selon la formule suivante :

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



Figure 08: Photo illustrant la filtration de la matière sèche.

2.1.3. Test de décantation V30

La détermination de l'indice de boue (figure 09) nous permet d'apprécier l'aptitude de la boue à la décantation et prévenir d'éventuelles pertes de boues liées au dépassement de la capacité du clarificateur. Le protocole utilisé est le suivant :

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

L'indice de boue est calculé comme suite

$$\mathbf{IB = V30/MS \times \text{facteur de dilution}}$$



Figure 09: Photo illustrant la décantation V30

2.1.4. Matière volatile sèche (MVS)

Le contrôle de ce paramètre (figure 10) permet de connaître la stabilité de la boue et son aptitude à divers traitement (déshydratation, incinération), suivant le protocole :

Le mode opératoire consiste à :

- Prélever des échantillons au niveau de lit de séchage
- peser les coupelles à vide (P0), puis mettre les échantillons de boue à l'étuve à - T°= 105° C pour un premier séchage
- laisser refroidir les coupelles, et peser(P2)
- Mettre dans un four de 550°C (une calcination)
- Laisser refroidir un bon moment
- peser les coupelles une dernière fois(P3).

La concentration des MVS est calculée selon la formule suivante :

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



Figure 10: Photo illustrant la détermination des matières volatiles sèches

3. Le sol

3.1. Le choix

Proximité de la parcelle, type de sol (qualité physique, chimique et biologique) et aussi c'est une parcelle qui répond aux conditions exigées par l'ONA (localisation, type de culture..) sont les critères de choix de la parcelle illustrée par la figure(12).

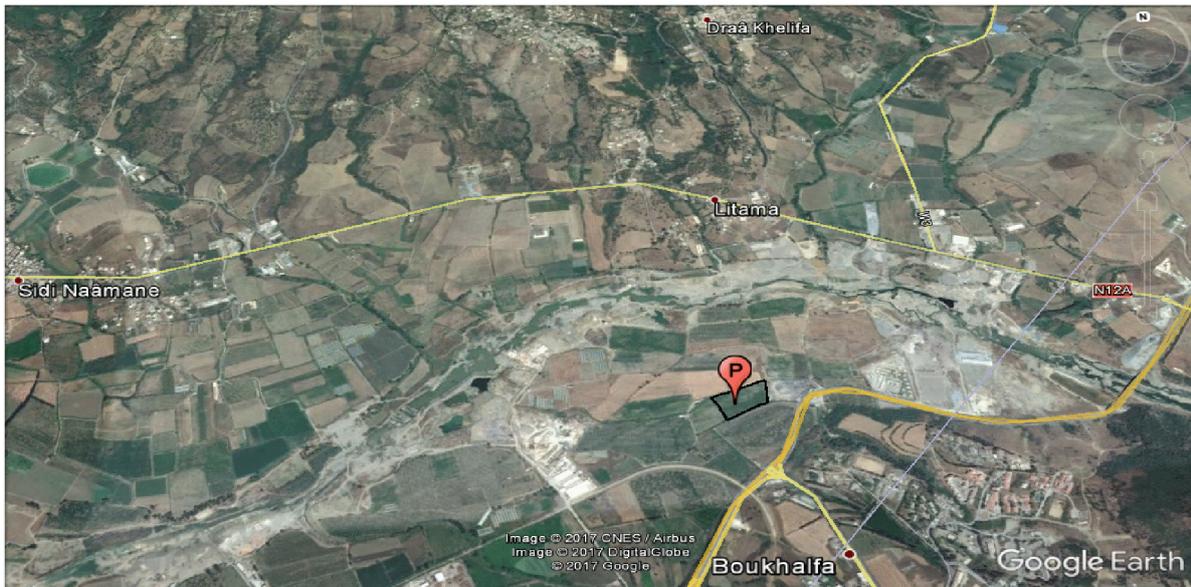


Figure 11: Localisation de la parcelle via Google Earth 2017.



Figure 12 : image prise sur la parcelle étudiée après la délimitation des blocs

3.2. Localisation et caractérisation de la parcelle d'étude :

Notre parcelle est découpée en blocs selon (**figure 13**) est les caractéristiques décrites dans le tableau (07).



Figure 13: Image satellitaire de la parcelle via Google Earth 2017

Tableau 7 : Les paramètres de la parcelle étudiée

Paramètres	Données
Lieu	Boukhalfa
Domaines	Frères Oumllil
Coordonnées	X:36°45'01.77"N
	Y:04°00'49.81"E
Topographie	Plat
Type culture	Oranger
Types et quantités des apports	Fumier(empirique) / Boues (dose)

3.3. Objectif d'étude

L'objectif de notre travail est de contribuer à la caractérisation des boues résiduelles de la station d'épuration des eaux usées ouest de Tizi-Ouzou, et à l'étude de l'effet de l'épandage de différentes doses de boues sur la fertilité azotée du sol alluvial.

3.4. Le choix du dispositif expérimental

Le dispositif mis en place est de type bloc aléatoire complet, avec deux facteurs et quatre répétitions (figure 14)

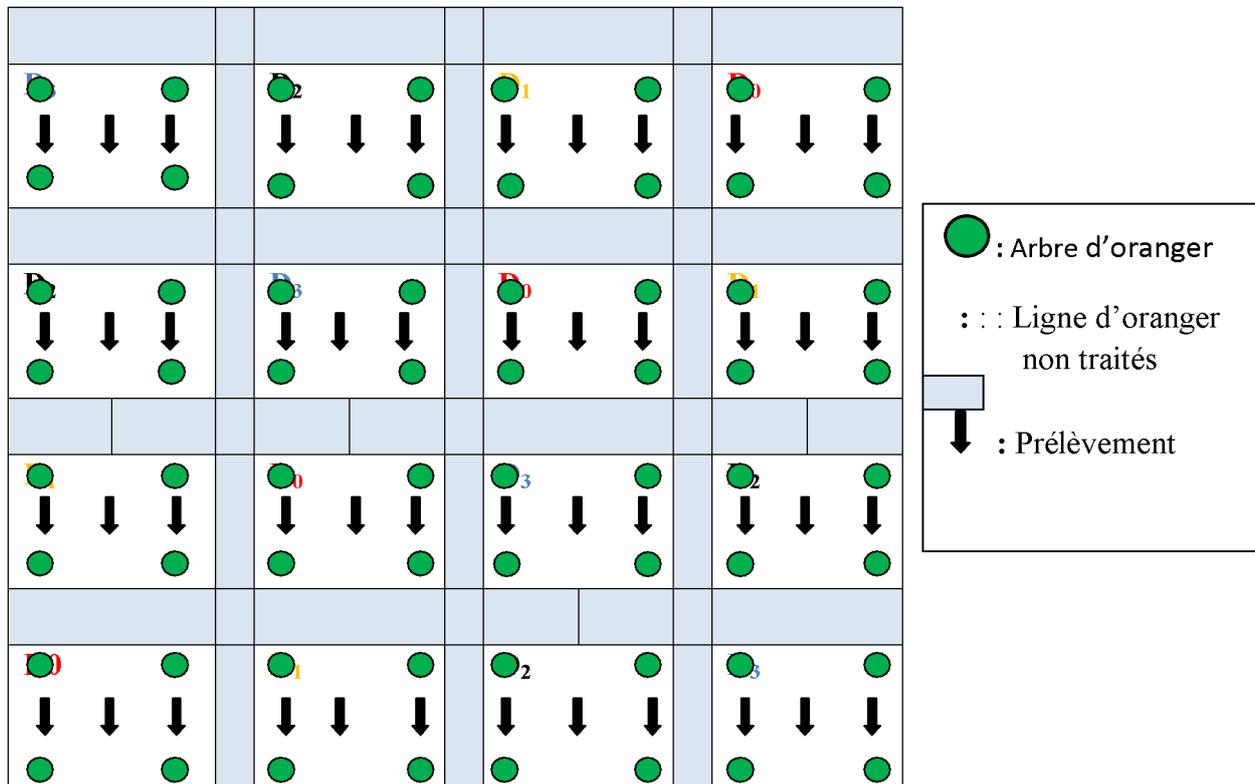


Figure 14: Dispositif expérimental de l'essai in situ

3. 5.Mise en place de l'essai

L'essai expérimental a été mené en plein champ, dans des conditions naturelles. La délimitation des blocs et des microparcelles est réalisée in situ en mars 2017 suivant un dispositif expérimental adopté, chaque bloc contient quatre micro-parcelle de 121m^2 , chaque microparcelle délimite quatre orangers. Pour chaque micro-parcelle et pour ne pas influencer sur ces arbres on a délimité chaque arbre de 1m^2 d'espace non concerné par l'épandage de boue, ce qui fait qu'une superficie de 16m^2 dans chaque micro-parcelle restée non amendée. Donc la superficie amendée de la micro parcelle est de 105m^2 . Dans chaque bloc, une microparcelle est sans apport de boues (témoin) et trois autres sont amendées avec trois différentes doses de boues et l'épandage est limité à une profondeur de (0-20cm). Nous avons quatre traitements répétés quatre fois, au total, 16 microparcelles.

3.6. Echantillonnage (période et méthode)

L'échantillonnage du sol a été effectué au mois de Mai 2017, huit semaines après l'épandage. Il a été réalisé selon les étapes suivantes :

- 1- Les points d'échantillonnage sont indiqués par les flèches illustrés au niveau du schéma (figure 14)
- 2- Prélèvement des échantillons avec une tarière pédologique à deux niveaux de profondeur {0- 20cm et 20-40cm} (figures 15 et 16).



Figure 15: Photo illustrant le prélèvement des échantillons de 0 à 20 cm de profondeur



Figure 16: Photo illustrant le prélèvement des échantillons de 20 à 40 cm de profondeur

3.8. Préparation des échantillons et analyse

La préparation des échantillons du sol étudiée, l'agitation et la filtration comme ils sont indiquée dans les figures (17 et 18).



Figure 17 : image qui illustre l'agitation au laboratoire

Figure 18 : image qui montre la filtration

3.9. Dosage du l'azote totale:

3.9.1. Le principe

La méthode utilisée est celle de kjeldahl. Le principe de la méthode consiste à transformer l'azote des composés organiques en azote ammoniacal.

3.9.2. Mode opératoire

3.9.2.1 Réactif :

- ✓ H_2SO_4 concentré et H_2SO_4 0,05 N
- ✓ H_3BO_3 : dans une fiole de 1000 ml, introduire 5 ml de la solution d'indicateur mixte et 40g de H_3BO_3 , faire dissoudre dans l'eau distillée ; si cela est nécessaire, ajuster le pH de cette solution en ajustant du NaOH ou HCL dilués jusqu'à l'obtention de la couleur bleue.
- ✓ Indicateur mixte : 0,5g de vert de bromocresol et 0,1g de rouge de méthyle sont dissous dans 100 ml d'éthanol a 95% ; ajuster le pH de cette solution a 4,5 avec du NaOH dilué ou du HCL dilué.
- ✓ NaOH à 40% : dissoudre 400g de cristaux de NaOH dans une fiole de 1000 ml, compléter au volume à l'eau distillée.



Figure 19 : image qui montre la préparation du sodium hydroïde.



Figure 20 : image qui montre la préparation de la soude

3.9.3. Minéralisation

- Peser de la terre fine ;
- L'introduire dans un matras de Kjeldahl de 500 ml ;
- Ajouter 20 ml environ d'eau distillée. Laisser en contact pendant 30 minutes ;
- Homogénéiser par agitation ;
- Ajouter 10g de K_2SO_4 , $CuSO_4$ et $5H_2O$ et 0,1g de sélénium ;
- Ajouter 30 ml de H_2SO_4 concentré ;
- Porter a la rampe d'attaque, sous hotte bien ventilée ou sous réfrigérant ; chauffer d'abord a feu doux, plus a feu vif jusqu'à obtention d'un liquide incolore. L'opération peut demander plusieurs heures. Chauffer encore pendant 20 a 30 minutes après la décoloration. La matière organique est alors totalement détruite et tout l'azote se trouve à l'état de sulfate d'ammoniaque.



Figure 21 : image des matras (kjeldahl)

Figure 22 : image de l'ôte

3.9.4. Préparation de la solution :

- Laisser refroidir le matras ;
- Ajouter avec précaution 20 ml d'eau distillée pour tout rassembler au fond du matras ;
- Laisser refroidir a nouveau ;
- Recueillir le contenu du matras dans une fiole jaugée de 100 ml : ajuster au volume avec les eaux de rinçage.

3.9.5. Distillation et dosage

- Introduire 2à ml de l'extrait dans le flacon de distillation de l'appareil de Buchi ;
- Ajouter quelques gouttes de rouge de méthyle ;
- Neutraliser a la soude a 40% (apparition de la couleur bleue : précipitation d'hydrates de $\text{Cu}(\text{OH})_2$). Utiliser 30 ml de NaOH 10 N ;
- Mettre 20 ml de H_2BO_3 contenant l'indicateur mixte dans un erlen et l'installer sous le collecteur du distillat (le bout du collecteur doit plonger dans l'acide borique) ;
- Mettre en marche la distillation jusqu'à l'obtention d'un volume du distillat de l'ordre de 10 à 20 ml.

3.9.6. Les calculs de l'azote total

De la quantité de H_2SO_4 utilisée pour la titration, on calcule le taux d'azote total :

$$\text{Azote total (Nt\%)} = X \cdot 0,05 \cdot 14 \cdot 100 \cdot 100 / V \cdot P \cdot 100$$

- X = volume de H_2SO_4 0,05 N utilisé (en ml)
- V = volume de l'extrait passé au distillateur (20 ml)
- P = prise d'essai (g de terre sèche)

3.10. Le dosage de l'azote assimilable

3.10.1. Introduction

L'azote disponible dans le sol représente les formes d'azote mobilisables et susceptibles d'être mises à la disposition des végétaux. L'azote dans les sols existe principalement sous deux formes assimilable NH_4^+ et NO_3^- . Ce dosage se fait sur terre fraîche

3.10.2. Principe

Le NH_4^+ (échangeable et soluble), le NO_2^- (soluble) et le NO_3^- (soluble) sont extraits du sol par du KCl. Le dosage se fait par distillation au Buchi, en présence d'oxyde de magnésium (MgO) calciné (figure 23)



Figure 23: MGO carbonisé

3.10.3. Mode opératoire

3.10.3.1 . Réactifs et matériels

Erlen de 100 ml

Appareil de Buchi (ou dispositif de distillation)

- Extraction :

- Peser 5 g de terre (sèche et tamisée à 0,2 mm) et les placer dans un flacon de 100 ml ;
- Ajouter 50 ml de la solution de KCl, 2N ;
- Filtrer toute la suspension et recueillir le filtrat dans une fiole jauge de 50 ml ;
- Compléter au volume avec KCl, 2 N et bien homogénéiser ;
- Distillation et dosage ;
- Introduire 10 ml d'acide borique dans un erlenmyer ;
- Ajouter 0,2 à 0,4 g de MgO calcinée, puis 0,2 g d'alliage de DEWARDA ;
- Rincer et commencer la distillation ;
- Le distillat est recueilli dans l'acide borique.



Figure 24 : four à mofle (carbolite)



Figure 25 : Appareil du minéralisateur Figure 26: Etape de la distillation

- On arrête la distillation quand le volume du distillat est de 300 ml ;
- On détitre avec l'acide sulfurique jusqu'à virage du vert au violet pourpre ;
- On titre avec l'acide sulfurique jusqu'au virage du vert au violet pourpre ;
- Noter la quantité d'acide sulfurique utilisée pour la titrations (V 3) ;
- Titrer un témoin dans les mêmes conditions que l'échantillon, soit 10 ml d'acide borique contenant une goutte d'indicateur mixte, noter le volume d'acide sulfurique utilisé (V4).



Figure 27: image de titration d'un témoin

3.10.3.2. Les calculs de l'azote minéral

On peut calculer la quantité d'azote assimilable selon la formule :

$$\text{N (assimilable) mg/kg de terre} = \frac{(V3-V4)*0,07*V1*1000}{V3*P}$$

V3= volume d'acide sulfurique N/200 utilisé pour la titration de l'échantillon (ml)

V4 = d'acide sulfurique N/200 utilisé pour la titration du témoin (ml)

V2 = volume prélevé pour la distillation = 20 ml

P = poids de la prise d'essai = 5 g

4. Analyse statistiques

Afin d'évaluer l'effet des boues sur le taux de l'azote dans le sol, nous avons effectué une analyse de la variance à deux facteurs de comparaison avec le logiciel STATBOX.

IV. Résultats

1.L'effet de l'épandage de boue sur les teneurs d'azote total et minéral dans les sols d'oranger de Boukhalfa Les résultats de l'analyse de l'azote total et minéral sont présentés au niveau des figures (28,29,30,31,32, 33)

1.1. L'azote total

1.1.1.Effets des doses de boue sur le taux de l'azote total dans le sol étudié

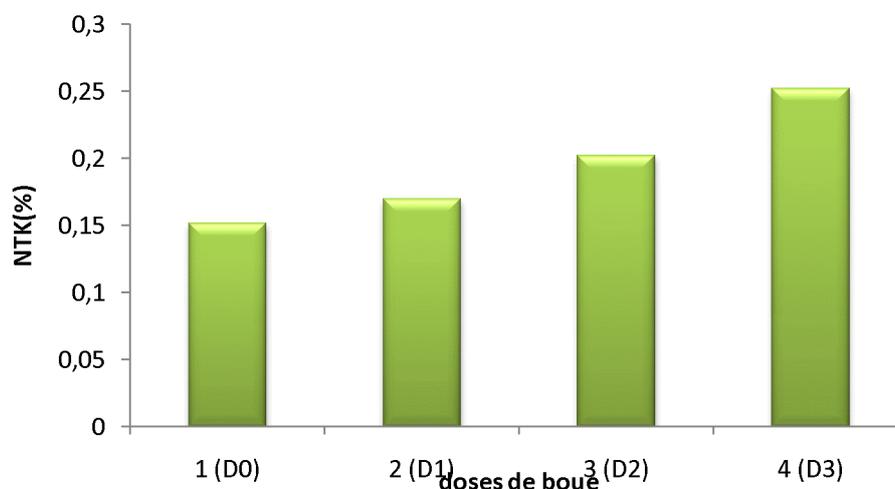


Figure 28: teneur de l'azote total en fonction des doses de boue (kg) 60jours après épandage

On observe que l'augmentation des doses de boue engendre une augmentation de l'azote total dans le sol. En effet, l'analyse de la variance, montre une différence hautement significative ($p=0$) pour ce facteur (tableau 08). Le test de NEWMAN et KEULS a fait ressortir trois groupes distincts, un pour la dose D3, un deuxième pour le témoin et la dose D1 et un troisième pour D2 (tableau 09)

Tableau 08 : résultats d'analyse de la variance pour facteur différents facteurs (dose, horizons, interaction dose et horizons

	S.C. E	DD L	C.M .	TEST F	PROB A	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	7,033	31	0,22 7				
VAR.FACTEUR DOSE	4,652	3	1,55 1	20,233	0		
VAR.FACTEUR HORIZONS	0,298	1	0,29 8	3,893	0,0574 1		
VAR.INTER DOSES*HORIZONS	0,243	3	0,08 1	1,057	0,3866 1		
VAR.RESIDUELLE 1	1,84	24	0,07 7			0,27 7	14,25 %

Tableau 9 : les résultats d'analyse de test NEWMAN et KEULS

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	D3	2,525	A		
3.0	D2	2,024		B	
2.0	D1	1,701			C
1.0	D0	1,521			C

1.1.2. Effet de la profondeur de sol sur le taux d'azote total

La moyenne des résultats de l'azote total obtenus au niveau des deux niveaux de profondeurs étudiés sont représentés au niveau de la figure(29)

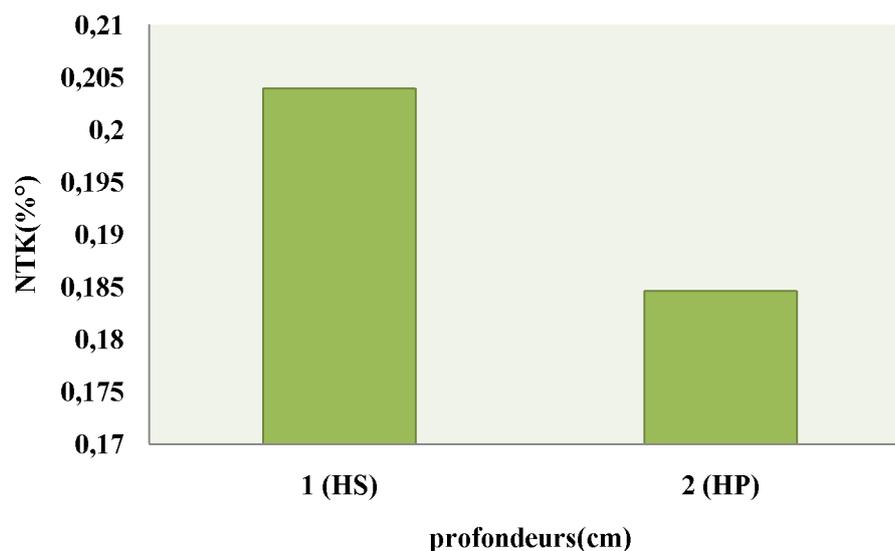


Figure 29: teneur de l'azote total dans les sols en fonction des niveaux de profondeur 60 jours après l'épandage.

L'analyse des résultats montre que les sols de surface (0-20) sont plus riches en azote total que ceux de profondeur (20-40). Pour l'horizon de surface (0-20), les teneurs d'azote fluctuent de 0,203 % dans le sol et de 0,184% dans l'horizon de profondeur (20-40). D'après les résultats, on constate que la teneur en azote total diminue avec la profondeur du sol. Selon les normes proposées par KJELDAHL(1960), ces sols sont riches en azote total.

Le niveau de profondeur du sol a un effet sur la teneur de ce dernier en azote total. En effet, l'analyse de la variance, montre un effet significatif ($P= 0.05$) pour ce facteur (tableau 8).

1.1.3. Effets des différentes doses de boue et de profondeurs sur le taux de l'azote total dans le sol étudié

Les résultats de l'analyse de l'azote total en fonction des doses et profondeurs sont présentés au niveau de la figure (30).

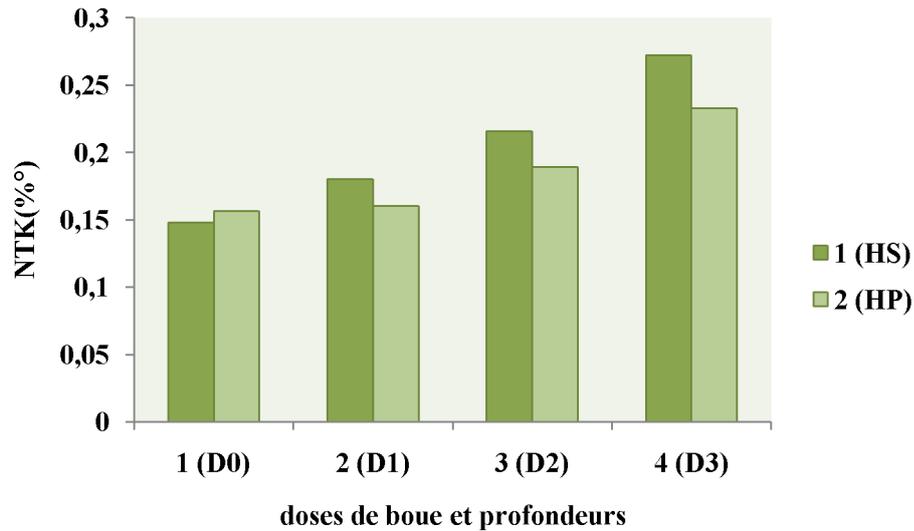


Figure 30: le taux de l'azote totale dans le sol 60 jours après épandage

D'après la figure (30), on remarque que la teneur en azote total augmente dans les sols de la profondeur (0-20cm) pour les différentes doses de boue apportées avec des valeurs respectivement de 0,18%, 0,21% et 0,27% comparativement au témoin (D0) qui est de 0,14%. Pour le niveau de profondeur (20-40cm), les résultats obtenus montrent aussi un effet des différentes doses avec des valeurs respectivement de 0,16%, 0,18% et 0,23% comparativement à celle de D0 qui est 0,15%.

L'effet de l'apport de boue sur le taux de l'azote dans le sol étudié est croissant avec la dose de boue. Aussi, l'effet est plus important sur le sol de niveau de profondeur (0-20cm) que celui de niveau (20-40cm).

1.2. Azote minéral

Les résultats de l'analyse de l'azote minéral en fonction des doses de boue apportée au sol sont représentés au niveau de la figure (31).

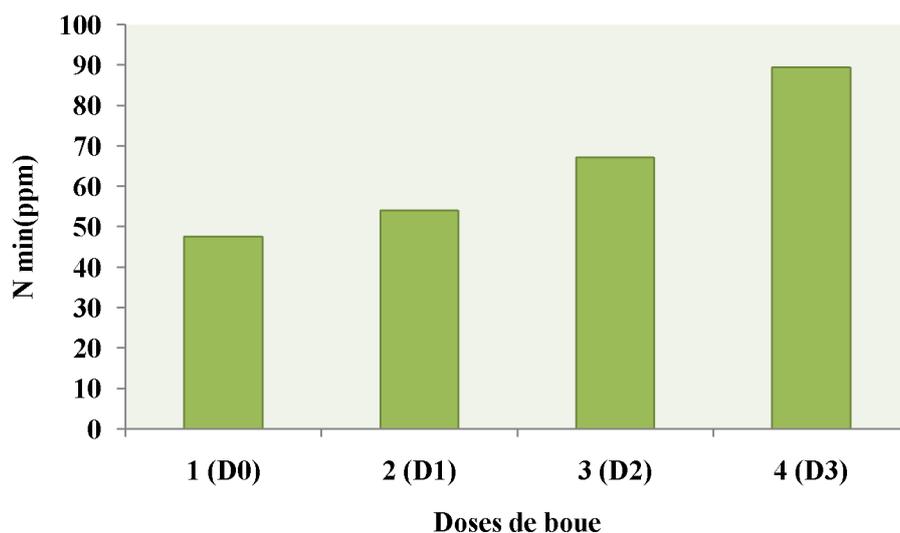


Figure 31: teneurs des sols en azote minéral en fonction des différentes doses de boue 60 jours après épandage.

D'après les résultats obtenus, on remarque que la teneur en azote minéral augmente avec l'augmentation de différentes doses de boue apportée au sol.

L'application du test statistique a montré un effet très hautement significatif ($P=0.00034$) pour le facteur dose (tableau 10), en effet le test de NEWMAN KEWLS a fait ressortir deux groupes distincts qui repartie la dose 3 en un groupe et les autres doses en un autre groupes (tableau11).

Tableau10 : Analyse de la variance pour les différents facteurs étudiés en azote minéral

	S.C.E	DDL	C.M.	TES T F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	15734,03	31	507,549				
VAR.FACTEUR DOSES	8198,404	3	2732,802	9,209	0,00034		
VAR.FACTEUR HORIZONS	297,377	1	297,377	1,002	0,3285		
VAR.INTER DOSES*HORIZO NS	116,018	3	38,673	0,13	0,94028		
VAR.RESIDUELL E 1	7122,227	24	296,759			17,22	26,70%

Tableau11 : Le test NEWMAN et KEULS

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
4.0	D3	89,438	A	
3.0	D2	67,063		B
2.0	D1	54,088		B
1.0	D0	47,531		B

I.2.2.Effet de différentes profondeurs sur le taux de l'azote minéral dans les sols étudiée

Les résultats des analyses d'azote minéral en fonction de différentes profondeurs sont obtenus au niveau de la figure (32).

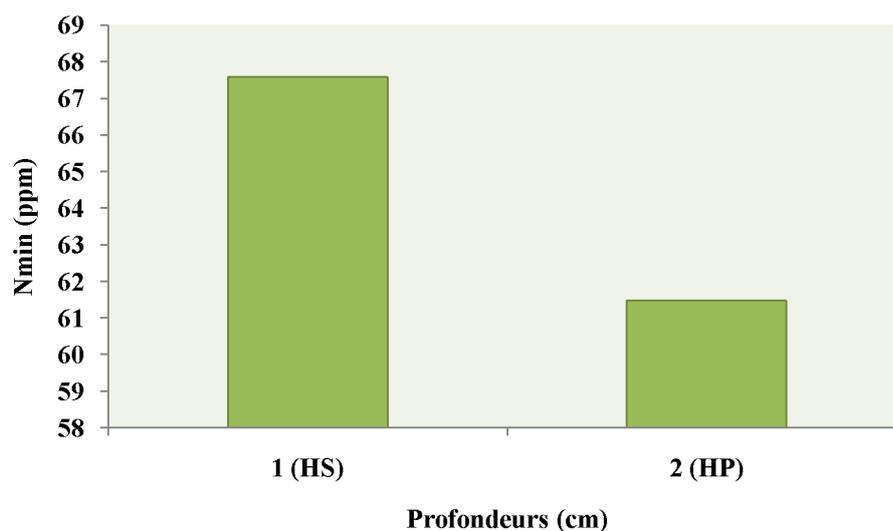


Figure 32: teneur d'azote minéral des sols étudiés en fonction de différents niveau de profondeurs 60 jours après épandages

D'après les résultats obtenus, on note que la teneur d'azote minéral dans le sol diminue avec diminution de profondeur. Une valeur de 67,57 ppm pour la profondeur (0-20) et 61,48ppm pour la profondeur (20-40).L'application de test statistique, montre un effet non significatif ($p=0.34$) pour le facteur profondeur (tableau10).

I.2.3.L'effet de différentes dose de boue et profondeurs sur l'azote minéral du sol étudié

Les résultats d'analyses d'azote minéral en fonction de doses de boue et deux profondeurs sont représentés au niveau de la figure (33).

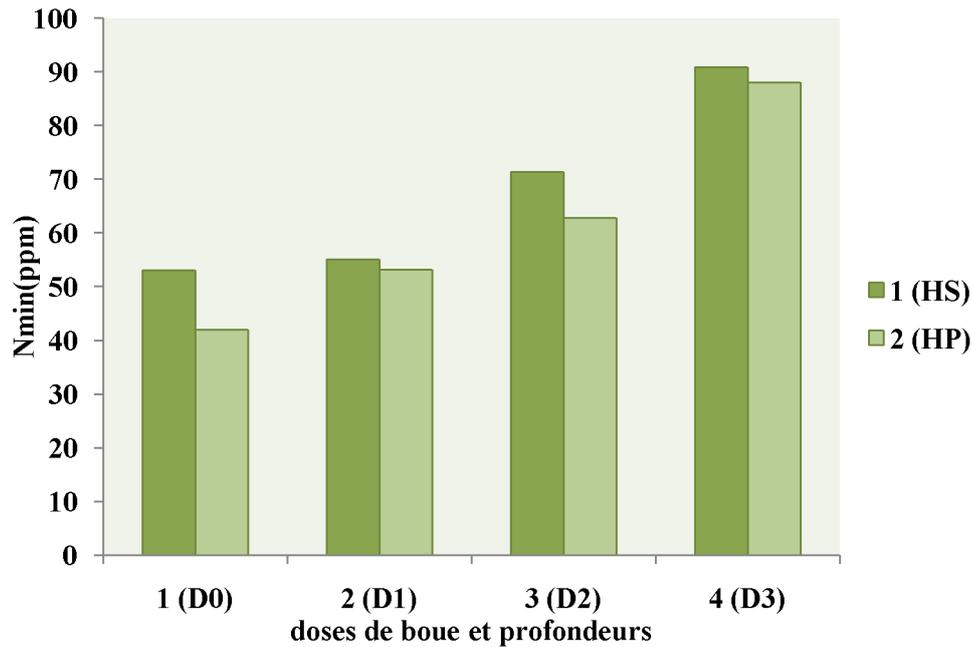


Figure 33 : teneurs de l'azote minéral en fonction de différentes doses de boue a différentes niveau de profondeur 60jours après épandage

D'après les résultats obtenus, on remarque que la teneur de l'azote minéral dans les sols étudiés augmente avec l'augmentation des doses de boue dans les deux niveaux de profondeurs prospectées. Les valeurs obtenues dans les sols de niveau (0-20cm) sont de l'ordre de 53,06 ppm pour la D0, de 55,06 ppm pour D1, de 71,31ppm pour D2 et de 90,87 ppm pour D3. Pour le niveau de profondeur (20-40cm), les teneurs en azote minéral sont de l'ordre de 42ppm pour la D0, 53,11ppm, pour la D1, 62,81 pour la D2 et 88ppm pour la D3.

Comparant ces résultats aux normes d'interprétation (Mémento, 1993), tous les sols qui ont reçus des boues avec des doses différentes sont riches en azote minéral (tableau 2 annexe1) par contre les sols n'ayant pas reçus ils sont uniquement riche en niveau de la profondeur (0-20cm) et moyennement pauvre au niveau de la deuxième profondeur (20-40cm).

1.3. Azote organique

Azote organique = NTK-Nmin.

Les résultats de l'azote organique nt et le rapport Norg /NTK sont représentés au niveau de tableau.

Tableau 12 : L'azote organique et le rapport Norg/NTK, Norg/Nmin

Doses	niveau	Norge (%)	Norg/NTK	Norg/Nmin
D0	0-20	0,142	0,95	26,7
	20-40	0,151	0,96	35,9
D1	0-20	0,174	0,96	31,6
	20-40	0,154	0,96	29,05
D2	0-20	0,207	0,96	29,15
	20-40	0,182	0,96	29,35
D3	0-20	0,263	0,96	29,22
	20-40	0,224	0,96	28

Selon nos résultats, l'azote organique varie de 0,142% à 0,263% ; STEVENSON, (1994), indique que l'azote organique représente plus de 95% de l'azote total. On trouve dans la fraction organique du sol des protéines, des peptides, des acides aminés, des amino-sucres sous forme libres, et de l'azote minéral (MUSTIN, 1987).

On remarque aussi que la valeur d'azote organique est importante pour les doses D1, D2, D3 comparativement à la D0.

1.1.3. Discussion générale

Nos résultats ont démontré que les teneurs des sols en azote total est élevée.

La richesse des sols en azote total des sols témoins est probablement due à l'apport des amendements organiques (fumier), (communication avec l'agriculteur)

L'application des 3 doses de boues (sols amendés), améliore et augmente les teneurs en azote total (NTK) par rapport aux sols témoins.

La différence entre les sols témoins et les sols amendés avec les boues résiduaires urbaines est significative. En effet, les boues résiduaires sont chargées en cet élément nutritif. La valeur fertilisante azotée des boues dépend de leur richesse initiale en azote ammoniacale, mais aussi et surtout de l'aptitude de l'azote organique qu'elles contiennent à être minéralisé dans le sol (GRIMAUD, 1996).

Le taux d'azote total a augmenté de 45% au niveau (0-20cm) et de 38% au niveau de la profondeur (20-40cm) pour la dose D3, 31% au niveau (0-20cm) et de 17% pour le niveau (20-40cm) de profondeurs pour la dose D2, 17% au niveau de la profondeur (0-20cm) et 2.5% au niveau (20-40cm) pour la dose D1.

L'azote total augmente avec l'augmentation des doses. De ces résultats, il ressort que la dose D3 la dose est la plus enrichissante en azote minéral Ceci s'explique par la richesse en azote des boues d'épuration.

Les résultats obtenus 60 jours après épandage de boues résiduaires montrent que les sols amendés sont riches en azote minéral. JEMALI, et al (1998) indique que les boues résiduaires sont riches en azote facilement minéralisable. Cependant les horizons de profondeur sont moins pourvus en azote minéral que ceux de surface par les eaux d'irrigation apportées avec un débit très important pour y compenser le déficit pluviométrique important aussi durant la période d'étude 2016-2017

Ces résultats s'expliquent par l'effet de l'apport des boues et sa minéralisation rapide (libération de NH_4^+ et des nitrates). La texture sableuse du sol, l'irrigation, le lessivage des nitrates pourraient expliquer ces teneurs en azote minéral moins élevées en profondeur, les horizons de profondeurs sont moins pourvus en azote minéral que ceux de la surface ce qui peut être expliqué par la forme ammoniacal de l'azote minéral qui est très important dans les boues résiduaires et que cette dernière n'est pas lessivable (Grimaud, 1996)

Au terme de ce travail qui a porté sur l'effet de l'apport des boues résiduaires urbaines sur le taux d'azote dans les sols d'oranger de Boukhalfa, nous allons présenter les résultats les plus importants.

De l'étude des sols amendés par les trois doses de boues résiduaires, il ressort que :

- L'apport de boues résiduaires sur les sols d'oranger de Boukhalfa a provoqué de variation des teneurs en azote total et minéral dans le sol en fonction des doses de boue et de la profondeur du sol.

- Les teneurs en azote total des sols amendés avec les boues résiduaires sont supérieures à celles de sols non amendés, ce qui signifie que l'apport de dose de boue augmente la teneur en azote total du sol.

- Les teneurs en azote minéral des sols amendés avec les boues résiduaires sont supérieures à celles des sols non amendés, ce qui signifie que l'apport de boues augmente la teneur d'azote minéral.

- La dose D3 de boue a engendré une augmentation plus importante de l'azote total et minéral au niveau de sol de la profondeur (0-20cm) que ceux de la profondeur (20-40cm).

- A l'issue de ce modeste travail, il ressort que l'apport de boues résiduaires présente une opportunité importante, capable d'améliorer la fertilité du sol, et d'un effet positif sur l'augmentation des teneurs en azote du sol d'oranger de Boukhalfa.

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

- ✓ 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.

- ✓ L'étalement de la durée d'épandages des boues afin d'évaluer la dynamique des éléments nutritifs et mieux valider les résultats ;accessibilité de l'azote pour la plante

- ✓ 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.

- ✓ Une augmentation de dose de boue.

- ✓ Comparaison avec d'autres engrais organiques.

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'EM SAR.228p

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

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.

Ademe, INRA et ENSAIA (1996) : La valeur phosphatée des boues résiduares des stations d'épuration urbaines .Guide des cahiers techniques w.172p

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,341p

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

Anred, 1988: La valorisation agricole des boues de la station d'épuration. Cahier technique. 23.117p.

Baumont .S (2005) : Réutilisation des eaux usées épurées : risque sanitaire et faisabilité en Ile de France.ORS (Observation Régional de Santé d'Ile de France) Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région le de France

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 maraichères. Thèse d'ing. INA Alger 36p.

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

Bourgeois S., Michelin J., Funery H., Wiart J.(1996) :la valeur azotée des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines. Collection ADEME 'valorisation agricole des boues de station d'épuration'.336p

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

Chemosphere »,

Collection OTV, 1997 : Ouvrage collectif. Traité et valorisé les boues. Collection OTV. N°2 .457p.

Comité National des Boues (CNB), 2000: Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Collection « valorisation agricole des boues d'épuration ».Ed. Ademe. France.

Decau J. 1968 : contribution a l'étude de l'influence des conditions de milieu sur la répartition de l'azote dans le sol. Ann. Agro.19(6).PP 653-683.

Degrement (1989) : Mémento technique de l'eau. Tome I et II. Edition Cinquanteenaire. 9^{ème} édition française. Paris

Degremont (1989) : Mémento techniques de l'eau. Edition technique et documentation .Lavoisier, 1989

Djebela L. (2003) : Contribution a l'étude physico-chimique des boues résiduelles en vue d'une valorisation agricole « cas de station d'épuration est de Tizi-Ouzou »

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..

Formation in pilot incineration tests of sewage sludge spiked with organic chlorine.

Grimaud L. (1996) : La valorisation des boues de station d'épuration en agriculture, Mém.D.U. »eau et environnement », D.E.P., université. Picardie, miens, 44p

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

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.

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

Guivarch A. (2001) : valeur fertilisante a court terme du phosphore des boues

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

Jarde, E 2003 : Composition organique de boues résiduares de stations d'épuration lorraines: caractérisation moléculaire et effets de la biodégradation.

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

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

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

Kirkham M .B.(1974) :Disposal of sludge on land. effect on soils plants and ground water .p6-10

Kockmann F.(1996) :ADEME-journées technique des 4 et 5 décembre 1996-valeur fertilisantes des boues d'épuration urbaine

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

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

Lambkin D. , Nortcliff S. , White T.,(2004):The importance of precision in samping sludges, biowastes and treated soils in a regulatory framework trends in Analytical Chemistry , p23,10-11

Lazzari, L., Sperti, L., Salizzato, M., Pavoni, B., 1999. Gas chromatographic determination

Mani A. (2005) : Valorisation des boues résiduares en agriculture : impact des boues les propriétés chimiques d'un sol agricole. Cas de station d'épuration de pont de Bougie .Thèse d'ing .Agro. Université de Tizi-Ouzou .57p

Mininni G; Sbrilli A; Guerriero, E; Rotatori M, 2004: « Dioxins and furans of organic micropollutants in samples of sewage sludge and compost: behaviour of PCB and OTV, (omnium de traitement et de valorisation) 1997 : Traiter et valoriser les boues . Collection N°2 ,Edition technique et documentation . Lavoisier , Paris .457p

OTV, (omnium de traitement et de valorisation) 1997 : Traiter et valoriser les boues . Collection N°2, Edition technique et documentation . Lavoisier , Paris .458p

OTV, (omnium de traitement et de valorisation) 1997. Traiter et valoriser les boues. Collection N°2, Edition technique et documentation. Lavoisier, paris.459p

Ouslati H.(1998):Impact de l'apport des boues résiduares sur un sol agricole de la MITIDJA .Thèse d'ing :université de tizi ouzou 34p

PAH during composting. Chemosphere, 38, 1925-1935

Paul BARBER et al (2005) : traiter et valoriser les boues :ouvrage collectif :OTV :n°2

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

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

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

Robert M. (1996) - Le Sol, interface dans l'environnement, ressource pour le

Robert M., Combier P.(1993) :conditions de valorisation des boues en agriculture .conséquence sur le traitement des boues .In :Baraque B ,éd .La ville et le génie de l'environnement Paris :presses de l'école nationale des ponts et chaussés ,49-64

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

Satin m, et Selmi b :Guide technique de l'assainissement .Edition le Moniteur 1999

Singh, B.R, 2004: - Trace element availability to plants in agricultural soils with, special emphasis on fertilizer inputs. - Environ. Rev. 2(2),p 133-146.

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

Summers, 1977: « Chemical composition of sewage sludge and analysis of their potential use as fertilizers» journal of environment quality, pp225-232.

Stevenson j.k. 1994: Humus chemistry .Genesis, composition, Reaction. Second edition.489p.

Sudres O. (1990) :les boues des stations d'épuration .Lab. Suad-Chambre d'agriculture .

Syprea. (2000) : La lettre du SYPREA –semestrielle –septembre 2002 .11p

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

Annexe 01 :

Mémento de l'agronome 1993

Tableau (01) : Normes d'azote total du sol (KJEDAHL)

Azote total %	Qualification
<0,05	Très faible
0,05 à 0,09	Faible
0,1 à 0,15	Moyenne
>0,15	Elevé

Tableau (02) : Normes de l'azote assimilable (mg /kg)

L'azote assimilable (mg /kg)	Qualification
<5	Sol très pauvre
5 à 10	So pauvre
10 à 50	Sol moyennement pauvre
50 à 100	Sol riche
>100	Sol très riche