



CARACTERISATION DES BOUES DE VIDANGES SECHEES ET DU PERCOLAT TRAITE DE LA STATION DE TRAITEMENT DE ZAGTOULI EN VUE D'UNE VALORISATION AGRONOMIQUE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN SCIENCES D'INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu publiquement le 24 Octobre 2016
Par **OUEDRAOGO Ouenibouedassita Benoît**

Travaux dirigés par : M. Francis D. KERE
Responsable Service Qualité Eau de l'ONEA
et
M. Boukary SAWADO
Enseignant Chercheur à 2iE

Jury d'évaluation :

Présidente : Dr Mariam SOU

Membres et correcteurs

Dr Seyram SOSSOU

M. Boukary SAWADO

Promotion [2014/2015]

DÉDICACE

A

- **La mémoire de mon très cher père qui s'est donné corps et âme pour la réussite de ses enfants et à qui je dois tout**

A

- **Ma très chère mère pour son amour et ses nombreuses bénédictions**

A

- **Ma femme pour son soutien inconditionnel et sa patience**

A

- **Ma fille née pendant la réalisation de ce travail**

A

- **Mes frères, sœurs et amis qui m'ont encouragé**

A

- **Tous ceux qui m'ont soutenu, encouragé, conseillé**

REMERCIEMENTS

Comme disent les sages : « une seule main ne ramasse pas la farine », la réalisation de ce document est le fruit de la contribution de plusieurs personnes et institutions et je profite leur présenter mes sincères remerciements.

Tout d'abord, je rends grâce au Dieu Tout Puissant pour avoir permis que ma formation à 2iE ait lieu dans de bonnes conditions.

J'adresse mes remerciements aux autorités de mon cher pays le **BURKINA FASO**, particulièrement celles du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement pour avoir accepté financer ma formation à 2iE. Dans ce sens j'exprime toutes mes reconnaissances à **M. Aly TRAORE**, ex-Secrétaire Général du Ministère de l'Eau et de l'Assainissement qui sans sa bonne volonté, ma formation n'irait pas à terme.

Je remercie mon école de formation ; la Fondation **2iE**, l'administration le personnel et l'ensemble de nos enseignants (professeurs, docteurs, enseignants chercheurs, doctorants, ingénieurs, etc.) pour la formation et l'encadrement.

J'exprime ma profonde gratitude à mon encadreur **M. Boukary SAWADO** qui malgré ses multiples occupations a accepté conduire la réalisation de ce mémoire. La réussite de ce travail a pu être effective grâce à ses conseils et orientations.

Ma gratitude va également à l'endroit de Monsieur **D. Francis KERE**, responsable Service Qualité Eau de l'ONEA, pour le choix du thème d'étude, ses encouragements et surtout pour m'avoir encadré durant la période du stage.

Je remercie le premier Responsable du LEDES **Dr. Yacouba KONATE** et le responsable du laboratoire de microbiologie **Dr. Seyram SOSSOU** pour m'avoir permis de faire certaines analyses au laboratoire à 2iE.

Mes remerciements vont également à l'endroit de **S^r Henriette OUEDRAOGO, Nathalie SURGOT** et **Sylvie LEXCELLENT** pour leurs soutiens financiers et moral.

Je n'oublie pas le personnel du laboratoire central de l'ONEA et du LEDES de 2iE pour leur collaboration : En particulier M. Christophe GUISSOU, Mme Assétou OUEDRAOGO/MONE, M. Isai BOMBIRI, M. Noël TINDOURE et M. HEMA Somahai,

Mon ami Elie TIONO, compagnon de lutte et collaborateur tout au long de la période de stage avec qui j'ai passé des moments inoubliables,

Enfin, à tous ces anonymes qui sont restés à mes côtés aux moments où j'avais besoin d'un soutien quelconque, trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude.

RESUME

Récemment, la valorisation des boues de vidange et des eaux usées a attiré l'attention des acteurs de l'agriculture dans les pays en développements en raison de l'augmentation des prix des engrais chimiques. Les boues de vidange provenant des systèmes d'assainissement autonome sont riches en éléments fertilisants et en matières organiques. C'est la raison pour laquelle elles constituent une ressource importante pour renforcer la productivité des sols de manière durable. Comme tout produit de recyclage, elles doivent être exemptes d'agents microbiens susceptibles de mettre en danger la santé humaine. Pour une bonne utilisation, une bonne connaissance s'avère indispensable pour une utilisation durable.

Les boues de vidange de la ville de Ouagadougou traitées sur lits de séchage non plantés à Zagtoui, génèrent d'énormes quantités de bio-solides pouvant atteindre 293,33 tonnes par an. La caractérisation des paramètres agronomiques et microbiologiques de ces bio-solides révèle une teneur moyenne de 47,23% de matières organiques. Les éléments fertilisants enregistrent des teneurs élevées. Sur la base des teneurs moyennes il a été obtenu 0,29% d'azote total, 1,0% de phosphore total, 0,13% de potassium, 0,55% de magnésium, 1,05% de calcium, et 0,10% de sodium. Les teneurs des métaux lourds des boues séchées sont faibles. Respectivement leurs teneurs moyennes obtenus sont 294,26 mg/Kg de zinc, 8,49 mg/Kg de plomb, 0,64 mg/Kg de cadmium et 10,46 mg/Kg de Nickel. Quant aux paramètres microbiologiques, le dénombrement des bactéries a donné en moyenne 373 UFC/g MS d'*E. coli*, 3646 UFC/g MS de coliformes fécaux, 46364 UFC/g MS de streptocoques fécaux. Pour les parasites intestinaux on a 25 œufs/g MS d'helminthes et 37 kystes/g MS de protozoaires. Les paramètres du percolât traité enregistrent respectivement les teneurs moyennes suivantes : 5,47mg/L de nitrate, 43,75mg/L de sulfate, 68,83mg/L d'ortho-phosphate, $4,98.10^4$ UFC/L d'*E. coli*, $1,05.10^5$ UFC/L de coliformes fécaux et $1,86.10^5$ UFC/L de streptocoques fécaux.

Au regard de ces résultats, la valorisation agronomique des boues et du percolât constitue une nécessité économique mais des traitements supplémentaires sont nécessaires pour protéger la santé humaine.

Mots Clés : boues de vidange - engrais - valorisation agronomique – parasites intestinaux

ABSTRACT

Recently, the value addition of faecal sludge and wastewater into fertilizer has attracted the attention of many farmers in developing countries as one way of tackling the increasing prices of chemical fertilizers. Faecal sludge from on-site sanitation systems are rich in fertilizing and organic matters. Though they are important resource to sustain the productivity of the soil. Like any recycling product they must not contain microbial agents that can endanger human health. For proper use, familiarity is essential for sustainable use. The faecal sludge of Ouagadougou, treated with unplanted-drying beds in Zagtouli, generate huge amounts of bio-solids up to 293.33 tons a year. Characterization of agronomic and microbiological parameters of these bio-solids reveals an average content of 87.14% dry matter of which 47.23% organic matter. Nutrients record high levels. Based on the average grade was obtained 0.29% total nitrogen (TKN), 1.0% of total phosphorus (P_2O_5), 0.13% potassium (K_2O), 0.55% magnesium (MgO), 1.05% calcium (CaO) and 0.10% sodium (Na_2O). The contents of heavy metals contained in the dried sludge are low. Their respective average grades obtained are 294.26 mg / kg for zinc (Zn), 8.49 mg / kg for lead (Pb), 0.64 mg / kg for cadmium (Cd) and 10.46 mg / kg for Nickel (Ni). As for microbiological parameters, sludge remediation rate is not satisfactory to the current state of treatment. Bacterial counts to give an average of 373 CFU/g of MS d'E. coli, 46364 CFU/gMS of faecal coliform, 3646 CFU/g MS of faecal streptococci. For intestinal parasites was 25 eggs/gMS helminth and 37 cysts/gMS protozoa. The treated leachate parameters respectively record the following average grades: 5,47mg / L nitrate, 43,75mg / L sulphate 68,83mg / L of ortho-phosphate, 4,98.104UFC / mL E. coli, 1,05.105UFC / mL fecal coliform and 1,86.105UFC/mL of faecal streptococci. Given these results, the agricultural use of sludge is an economic necessity but further treatment is necessary to protect human health.

Keywords: 1 – faecal sludge 2 - fertilizers 3 – valuation 4 - intestinal parasites

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
RESUME.....	III
ABSTRACT	IV
LISTE DES ABREVIATIONS	VIII
LISTE DES FIGURES.....	IX
LISTE DES TABLEAUX	X
INTRODUCTION.....	1
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	4
II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	5
II.1. GENERALITES SUR LES BOUES DE VIDANGE	5
II.1.1. Diversité des effluents de l'assainissement domestique : Les boues de vidange ménagères.....	5
II.1.2. Les boues de vidange non ménagères	5
II.1.3. Définition et typologie des boues de vidange	5
II.1.4. Caractéristiques des boues de vidange et risques sanitaires.....	6
II.1.5. Gestion des boues de vidange de la ville de Ouagadougou	7
II.1.6. Quantité de boues produite dans la ville de Ouagadougou	8
II.1.7. Quantité de bio-solides générée à l'issu du traitement.....	8
II.1.8. Valorisation des boues en agriculture	9
II.1.9. Risques environnementaux et sanitaires liés aux boues de vidange	10
II.2. APERÇU SUR LES OPTIONS DE TRAITEMENT DES BOUES DE VIDANGE	13
II.3. CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES DES BIO-SOLIDES	14
II.3.1. Paramètres physico-chimiques.....	14
II.3.2. Les éléments fertilisants des bio-solides et leurs fonctions nutritives.	15
II.3.3. Les microorganismes pathogènes des bio-solides.....	18
II.3.4. Inactivation des pathogènes des bio-solides.....	19

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

II.4.	LE PERCOLAT DES BOUES DE VIDANGE	20
II.4.1.	Qualité fertilisante du percolât	20
II.4.2.	Les microorganismes du percolât.....	20
II.5.	LES ENJEUX DE L'ASSAINISSEMENT	21
III.	MATERIEL ET METHODES.....	22
III.1.	PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	22
III.1.1.	Situation Géographique.....	22
III.1.2.	Le climat.....	22
III.1.3.	Sols et végétation	23
III.1.4.	La démographie.....	24
III.1.5.	Présentation de la station de traitement des boues de vidanges de Zagtoui.....	24
III.2.	OBJECTIFS ET PRINCIPE DE TRAITEMENT.....	25
III.3.	ANALYSES DES BOUES DE VIDANGE.....	26
III.3.1.	Échantillonnage	26
III.3.2.	Points de prélèvements.....	26
III.3.3.	Matériel utilisé et mode de prélèvement	27
III.4.	METHODES D'ANALYSES DES BOUES SECHEES	27
III.4.1.	Préparation de la poudre de boue pour les différentes analyses.....	27
III.4.2.	Matière sèche (MS) et taux d'humidité (H)	28
III.4.3.	Détermination de la perte au feu (MO) et de la matière minérale.....	29
III.4.4.	Le pH.....	29
III.4.5.	La Conductivité	29
III.4.6.	Dosage Du Carbone Organique Total	29
III.4.7.	Azote Total Kjeldhal (NTK)	31
III.4.8.	Azote ammoniacal (N-NH ₄ ⁺)	31
III.4.9.	Détermination de l'oxyde de calcium (CaO)	31
III.4.10.	Détermination du TH et de l'oxyde de magnésium (MgO)	32
III.4.11.	Détermination de la teneur en Phosphore total (P ₂ O ₅).....	33
III.4.12.	Extraction des métaux lourds totaux	34
III.5.	ANALYSE MICROBIOLOGIQUE DES BOUES	35
III.5.1.	Analyse bactériologique	35
III.5.2.	Recherche et dénombrement des œufs d'helminthes viables.....	36

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtouli en vue d'une valorisation agronomique

III.6. METHODES D'ANALYSE DU PERCOLAT	37
III.6.1. Paramètres physico-chimiques et microbiologiques.....	37
III.6.2. Méthode d'analyse des éléments minéraux par spectrophotomètre.	38
III.7. TRAITEMENT DES DONNEES, CALCUL DES ABATTEMENTS ET DU SAR.	39
IV. RESULTATS ET DISCUSSION	40
IV.1. LES BOUES SECHEES OU BIO-SOLIDES	40
IV.1.1. Résultats d'analyses des boues séchées	41
IV.1.2. Distribution des éléments fertilisants majeurs autour de la moyenne.....	44
IV.1.3. Le Sodium Adsorption Ratio (SAR) des bio-solides	45
IV.1.4. Teneur en Éléments Traces Métalliques des bio-solides.	45
IV.1.5. Caractéristiques microbiologique des bio-solides.....	47
IV.1.6. Performances des lits de séchages de la STBV	51
IV.2. LE PERCOLAT DES BOUES DE VIDANGE	52
IV.2.1. Caractéristiques du percolât brut et du percolât traité.....	53
IV.2.2. Caractéristiques du percolât brut.....	54
IV.2.3. Performances épuratoire de la STEP de Zagtouli	55
V. CONCLUSION.....	61
VI. RECOMMANDATIONS.....	62
VII. BIBLIOGRAPHIE	64
VIII. ANNEXES.....	XI
ANNEXE 1 : PROTOCOLES D'ANALYSES DU PERCOLAT	XI
ANNEXE 2 : DISTRIBUTION DES ELEMENTS FERTILISANTS MAJEURS AUTOUR DE LA TENEUR MOYENNE	XV
ANNEXE 3 : RESULTATS D'ANALYSES DES BOUES SECHEES	XVII
ANNEXE 4 : RESULTATS D'ANALYSES DU PERCOLAT	XVIII

LISTE DES ABREVIATIONS

APD : Avant-Projet Détaillé

BV : Boues de Vidange

Cd : Cadmium

CNUEH : Centre des Nations Unies pour les Etablissements Humains

CF : Coliformes Fécaux

CREPA: Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût

DBO₅: Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours

DCO : Demande Chimique en Oxygène

E. coli : *Escherichia coli*

IGB: Institut de la Géographie du Burkina

INSD: Institut National de la Statistique et de la Démographie

MES: Matières En Suspension

MS: Matières Sèches

NH₄⁺: Azote ammoniacal

Ni : Nickel

NO₃⁻ : Nitrate

NTK: Azote Total Kjeldhal

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONEA: Office National de l'Eau et l'Assainissement

Pb : Plomb

pH: potentiel d'Hydrogène

PO₄³⁻: Ortho-phosphates

PSAO: Plan Stratégique d'Assainissement des eaux usées et des excréta de Ouagadougou

SAR: Sodium Adsorption Ratio

SO₄²⁻: Sulfates

SF : streptocoques fécaux

STBV: Station de Traitement des Boues de Vidange

U log : Unité logarithmique

UFC : Unité Formant Colonie

Zn : Zinc

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Déversement des boues brutes dans un champ à la périphérie de Ouagadougou. -	10
Figure 2 : Vue d'ensemble des technologies de traitement à faible coût des boues de vidange et les combinaisons envisageables -----	13
Figure 3 : Présentation de la ville de Ouagadougou -----	22
Figure 4 : Données climatologiques de la ville de Ouagadougou -----	23
Figure 5 : Plan de la STBV et de la STEP de Zagtouli-----	24
Figure 6 : Etapes d'une bonne gestion des boues de vidange -----	26
Figure 7 : (a) photo de prélèvement de boues ; (b) photo de prélèvement du percolât -----	27
Figure 8 : (a) Photo de broyage des boues ; (b) Photo de tamisage de la poudre de boue ----	28
Figure 9 : Photo des boues de vidange séchées sur lit et d'un tas de bio-solides-----	40
Figure 10 : Proportion de chaque métal lourd par rapport à l'ensemble des métaux analysés. -----	46
Figure 11 : photos de larves, d'œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires trouvés dans les boues séchées -----	50
Figure 12 : Photo du bassin anaérobie de la STEP de Zagtouli -----	52
Figure 13 : Évolution du pH au cours du traitement -----	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristique des BV de quelques villes-----	6
Tableau 2 : Caractérisation des boues de vidange et des eaux usées des pays tropicaux par type d'ouvrage d'assainissement individuel -----	7
Tableau 3 : Classification des infections liées aux excréta basée sur le comportement des agents pathogènes en dehors de l'hôte-----	11
Tableau 4 : Temps de survie des organismes pathogènes des boues de vidange à la température ambiante -----	12
Tableau 5 : Comparaison entre compost et engrais minéraux classiques-----	18
Tableau 6 : caractéristiques des bassins de lagunage de Zagtoui -----	25
Tableau 7 : méthodes d'analyses des différents paramètres physico-chimiques -----	37
Tableau 8 : méthodes d'analyse des éléments minéraux -----	38
Tableau 9 : Statistiques des caractéristiques physico-chimiques des boues séchées avec leurs normes. -----	41
Tableau 10 : Statistique des teneurs des éléments fertilisants contenus dans les boues séchées avec leurs normes. -----	43
Tableau 11 : Valeurs du SAR des boues séchées -----	45
Tableau 12 : Statistiques des teneurs des métaux lourds des bio-solides -----	45
Tableau 13 : Nombres de bactéries vivantes présentes dans les bio-solides -----	47
Tableau 14 : Nombre total d'œufs par espèce de parasite et par gramme de boue. -----	48
Tableau 15 : Nombre total de kystes par espèce de Protozoaires et par gramme de boue.----	49
Tableau 16 : Statistique des résultats d'analyses des différentes pollutions du percolât brut et du percolât traité. -----	53
Tableau 17 : Rendement épuratoire de la pollution organique et des nutriments -----	57
Tableau 18 : Statistique des taux d'élimination des bactéries en% et en Ulog -----	59

INTRODUCTION

Contexte et justification

L'assainissement constitue un des principaux challenges actuels pour les pouvoirs publics. On estime en effet à plus de 2,6 milliards le nombre de personnes dans le monde qui sont sans accès à des installations d'assainissement améliorées (OMS et UNICEF, 2006). C'est ce qui justifie qu'avec l'Eau, il leur a été dédié le point six (6) des Objectifs du Développement Durable (ODD).

Au Burkina Faso, selon les statistiques récentes le taux d'accès global à l'assainissement se situe autour de 27% (MEA, 2014). Face au manque de moyens importants à mobiliser pour doter les agglomérations de systèmes collectifs, l'accent est mis sur l'assainissement individuel. La pratique de l'assainissement individuel se traduit par la collecte des produits de l'assainissement à l'échelle du ménage. Cette pratique est très répandue dans les pays en développement et permet de maîtriser la gestion des déchets, des eaux usées et excréta. Elle requiert une organisation mettant en avant une filière pouvant débiter de façon générale par la collecte et se terminer par le traitement et la valorisation.

Les boues de vidange produites dans les ménages aboutissent à un point de collecte qui est généralement une fosse. Au Burkina Faso, la politique de gestion des boues de vidange est encore récente et reste largement sous-développé en dépit des efforts consentis. C'est ainsi que le Plan Stratégique d'Assainissement de la ville de Ouagadougou (PSAO), a été étendu récemment à l'ensemble des villes importantes du pays, à travers l'Office National de l'Eau et l'Assainissement (ONEA). Il a permis de doter certains ménages de ces villes d'ouvrages d'assainissement autonome (latrine VIP, toilette, latrine à chasse manuelle, puisard, fosse septique). En 2009, plus de 95% de la population de Ouagadougou avait recours à des ouvrages d'assainissement autonome pour la gestion des eaux usées et excréta (Bassan et al, 2010). Ces ouvrages emmagasinent de grandes quantités de boues dont la gestion demeure encore chaotique. Elles sont vidangées et le plus souvent déversées dans des dépressions, des cours d'eaux, des espaces vides, des caniveaux ou encore réutilisées sans traitement sur des terres agricoles. On constate que certains agriculteurs s'auto-organisent des conducteurs de camions de vidange de fosses septiques pour qu'ils déversent les matières fécales dans leurs champs. En supposant une production d'un litre par jour et par habitant, de boues de vidange, un camion plein de 5 m³ qui rejette son contenu sans discernement équivaut

à 5 000 défécations à ciel ouvert (Koné et *al.*, 2007). Ces pratiques posent d'énormes risques de santé publique et ont une incidence de maladie élevée chez les vidangeurs, leurs familles, les ménages qui vivent dans la région immédiate et les populations vulnérables des villes qui possèdent surtout des latrines (OMS, 2006). En effet, l'OMS estimait en 2004 que 133 millions de personnes dans le monde souffrent d'infections dues aux helminthes intestinaux et 1,8 millions de personnes meurent chaque année de maladies d'origine hydrique comme la diarrhée. Pour répondre à cette situation préoccupante l'ONEA a mis en place deux stations de traitements à lits non plantés des sous-produits de l'assainissement autonome de la ville de Ouagadougou (une à Zagtoui et une à Kossodo) afin de limiter la dissémination des pathogènes dans l'environnement.

La valorisation des produits issus du traitement est nécessaire étant donné que l'épandage des eaux usées, des boues et excréta est une pratique très répandue qui s'appuie sur une longue tradition dans de nombreux pays à travers le monde. Les plus anciennes références à l'utilisation des excréta viennent de certains pays asiatiques, où ils servaient à accroître la production agricoles et piscicole par le biais de l'aquaculture (OMS, 2006). Pendant des siècles, les agriculteurs chinois et Vietnamiens ont utilisé les excréments humains et animaux comme engrais. Ces mêmes pratiques s'observent depuis quelques années dans les pays en développement comme le Burkina Faso le Ghana, le Sénégal,... où les agriculteurs utilisent largement les boues de vidange et les eaux usées non traitées et en tirent même des avantages pour améliorer leur subsistance.

Problématique de l'étude

L'absence de système de collecte et de traitement adéquats des boues de vidange et leurs utilisations incontrôlés provoque une dissémination des pathogènes dans la ville de Ouagadougou et ses environs. Cette situation a pour conséquence probable de rendre inefficaces les importants efforts fournis actuellement par les institutions et les décideurs pour l'amélioration de l'assainissement autonome dans le cadre du Plan stratégique d'assainissement de Ouagadougou (PSAO). Dans ce sens, l'objectif pour les stations de traitement de boues de vidange est essentiellement d'ordre sanitaire. Afin de garantir la non-dissémination des pathogènes, les STBV devront permettre une évacuation hygiénique des sous-produits de l'assainissement et d'envisagée une valorisation agricole des bio-solides

sans risques élevés. Toutefois, les boues issues des lits de séchage peuvent toujours contenir des œufs d'helminthes et d'autres pathogènes.

C'est pour cela que cette étude a pour objectif de contribuer à une meilleure connaissance des boues de vidange et du percolât traités à la station de traitement des boues de vidange de Zagtoui afin d'en assurer une meilleure valorisation.

Il s'agit plus spécifiquement :

- de déterminer le potentiel fertilisant du gâteau de boues séchées
- de déterminer les caractéristiques microbiologiques du gâteau de boues séchées et du percolât
- d'évaluer les performances de traitement de la STEP de Zagtoui

Le présent travail est composé de quatre grandes (4) parties dont la première porte sur la présentation du cadre d'étude, la deuxième porte sur la synthèse bibliographique, la troisième présente les matériels et méthodes utilisés pour l'étude, la quatrième et dernière partie portes sur les résultats obtenus ainsi que leurs analyses. Nous terminerons par des perspectives et des recommandations

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

L'Office national de l'eau et de l'assainissement (ONEA) a été créé par décret n°85/387/CNR/PRES/EAU du 28 juillet 1985 sous la forme d'un Etablissement public de l'Etat à caractère industriel et commercial (EPIC). Il sera transformé en société d'Etat le 2 novembre 1994 (décret N°94-391/PRES/MICM/EAU). Ce statut lui permet d'être soumis aux mêmes dispositions que les sociétés commerciales et de bénéficier d'une large autonomie.

Les missions assignées à l'ONEA sont :

- la création, la gestion et la protection des installations de captage, d'adduction, de traitement et de distribution d'eau potable pour les besoins urbains, semi-urbains et industriels ;
- la création, la promotion de la création et l'amélioration ainsi que la gestion des installations d'assainissement collectif industriel ou autonome pour l'évacuation des eaux usées et des excréta dans les centres urbains et semi-urbains.

Pour l'atteinte de ces objectifs et assurer une meilleure qualité de ses services, l'ONEA s'est doté de plusieurs laboratoires de contrôle de qualité des eaux de consommation et des eaux usées. Le laboratoire central, situé en plein cœur de Ouagadougou, dans le quartier Paspanga, sur le site de traitement d'eau potable a servi de cadre à notre stage.

II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1. GENERALITES SUR LES BOUES DE VIDANGE

II.1.1 Diversité des effluents de l'assainissement domestique : Les boues de vidange ménagères.

Les effluents de l'assainissement domestique peuvent être classés en quatre grandes catégories qui sont:

- **les eaux noires** composées d'urine, d'excréta et d'eau de chasse. Ces eaux sont chargées en matières organiques azotées et phosphorées, en pathogènes fécaux ainsi qu'en micropolluants.
- **les eaux grises** résultant de l'utilisation de l'eau pour la vaisselle, le lavage du linge et les douches. Ces eaux sont chargées en détergents, graisses, solvants, débris organiques et micropolluants. Elles contiennent moins de matières organiques et de charge polluante que celles des eaux noires.
- **les boues de vidange** provenant de la vidange des fosses septiques et latrines composées d'eaux grises et d'eaux noires.
- **les excréta** composées de fèces et d'urine.

II.1.2 Les boues de vidange non ménagères

Les boues de vidange non-ménagères regroupent celles extraites des établissements préscolaires, scolaires, les casernes militaires, les hôpitaux et les marchés.

II.1.3 Définition et typologie des boues de vidange

En général, le terme boues de vidange désigne les boues ou les solides non digérés ou partiellement digérés qui découlent du stockage ou du traitement des eaux noires dans ce qu'on appelle les systèmes d'assainissement sur place comme les fosses septiques, les latrines, les fosses d'aisances, les toilettes sèches, les toilettes publiques... (Raschid-Sally et Jayakody., 2008).

Suivant leurs concentrations, Heinss et *al.*, 1998, Montangero et Strauss., 2002, définissent deux types de boues de vidanges: les boues de vidange de type A et les boues de vidange de type B.

Les boues de vidange de type A sont des boues relativement concentrées, stockées quelques jours ou semaines, biochimiquement instables, provenant des toilettes publiques ou de grandes surfaces, d'hôtels, hôpitaux...

Les boues de vidange de type B sont des boues de faibles concentrations, stockées depuis plusieurs années et partiellement stables provenant des dispositifs d'assainissement individuel des ménages (latrines, fosses septiques...).

II.1.4 Caractéristiques des boues de vidange et risques sanitaires

Les boues de vidanges présentent une variabilité élevée (Montangero et al, 2002 ; Koné et Strauss, 2004). Les paramètres qui influencent la qualité des boues de vidanges sont :

- La température
- La durée de stockage (de quelques mois à quelques années)
- Le type d'installation (fosse septique, latrines traditionnelles,...) et les performances épuratoires.
- La composition des boues de vidanges (présence ou non des graisses, des déchets alimentaires, des solides non biodégradables, des détergents,...)

D'une part, l'analyse des caractéristiques physico-chimiques des boues de vidanges montre que leur grande variabilité dépend aussi du niveau de développement des villes (tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristique des BV de quelques villes (Heinss et al., 1999)

	Accra Fosse septique	Bangkok Fosse septique	Manille Fosse septique	U S E P A Fosse septique
DCO (mg/L)	7 800	14 000	37 000	43 000
DBO ₅ (mg/L)	600-1 500	2 800	3 800	5 000
MS (mg/L)	11 900	16 000	72 000	38 000
MVS (%)	60	69	76	65
pH	7,6	7,7	7,3	6,9
DCO/DBO	6-12	-	9,7	9
DCO/MS	0,7	0,5	0,5	1,1

D'autre part, les caractéristiques physico-chimiques des boues comparées aux valeurs moyennes des eaux usées domestiques, montrent des taux beaucoup trop élevés, (Tableau 2). Les teneurs en matières sèches et en matières organiques ainsi que les concentrations d'ammonium et d'œufs d'helminthes mesurées dans les boues de vidange sont 10 à 100 fois plus élevées que dans les eaux usées.

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

Tableau 2 : Caractérisation des boues de vidange et des eaux usées des pays tropicaux par type d'ouvrage d'assainissement individuel (Heinss et Kootatep, 1998).

Caractéristiques	Boues de toilettes publiques	Boues de fosses septiques	Eaux usées domestiques
DCO	20 - 50 000	<10 000	500 – 2 500
DCO/DBO	2 :1 à 5 :1	5 :1 à 10 :1	2 :1
NH ₄ ⁺ (mg/L)	2 - 5000	<1000	30 - 70
MS (g/L)	≥3,5%	<3%	<1%
MES (mg/L)	≥30.000	≈7 000	200 - 700
Œufs d'helminthes	20 – 60 000	≈4 000	30 - 2000

De par leurs compositions physico-chimiques et microbiologiques, les boues de vidanges sont considérées comme des déchets dangereux présentant de nombreux risques sanitaires et environnementaux.

II.1.5 Gestion des boues de vidange de la ville de Ouagadougou

La filière de gestion des boues de vidanges peut être divisée en trois parties : Une première partie constituée par les ouvrages d'assainissement, une deuxième ou partie intermédiaire constituée par les vidanges et le transport des boues, et la troisième partie qui est relative à la mise en décharge, au traitement ou à la valorisation des boues collectées.

En ce qui concerne les ouvrages d'assainissement, un programme constituant le premier volet du Plan Stratégique d'Assainissement de Ouagadougou (PSAO) a été mis en œuvre en 1992 ; c'est le programme d'assainissement autonome qui visait à stimuler auprès des ménages la demande en équipements sanitaires modernes (latrines à fosses ventilées : VIP) en offrant gratuitement aux demandeurs les tuyaux de ventilation et les dalles des équipements. Ce programme a permis notamment d'équiper toutes les écoles primaires publiques de la ville de Ouagadougou en latrines VIP et d'équiper certains ménages en latrines modernes. Selon les données de l'ONEA, les réalisations d'ouvrages d'assainissement autonome domestiques pour la ville en 2010, se présentaient comme suit : 83372 puisards (puisards bacs, puisards douches) et 39236 latrines (latrines VIP, TCM, réhabilitations, fosses septiques). Dans cette dynamique, le PSAO prévoit la construction de 320 000 ouvrages améliorés en milieu urbain et 36 000 en milieu rural, entre 2010 et 2020 pour atteindre 100% de couverture en matière d'assainissement des excréta dans la ville de Ouagadougou.

Le volet collecte et transport des boues est assuré pour le moment par l'ONEA, et en grande partie par des sociétés privées de vidangeurs mécaniques et manuels. Des camions équipés

d'un système d'aspiration, assurent la vidange des fosses contre paiement de la prestation. Pour les latrines, la vidange manuelle se fait au moyen d'outils rudimentaires et souvent sans moyens de protection appropriés.

Le dernier maillon de la chaîne est entièrement géré pour l'instant par l'ONEA pour ce qui concerne la construction des stations de traitement et la gestion des produits traités. Ainsi sur les quatre stations prévues, deux sont déjà construites et en cours d'exploitation (Kossodo et Zagtouli).

II.1.6 Quantité de boues produite dans la ville de Ouagadougou

Les quantités de boues de vidanges produites dans la ville de Ouagadougou évoluent de façon croissante d'une année à l'autre concomitamment avec l'augmentation de la population urbaine. En 1993, l'ONEA estimait les quantités de boues vidangées dans la ville de Ouagadougou à 120 m³/jour. Ensuite plusieurs auteurs ont eu à quantifier les boues de vidanges de la ville. Ainsi en 1999, dans le cadre d'un mémoire de fin d'études à l'EIER, après une enquête auprès de 12 sociétés de vidange, la production totale de boues a été estimée à 482 m³/j (SAVADOGO, 1999 cité par Dembélé., 2003). En 2010, la société PÖYRY, en charge de l'étude détaillée d'exécution des STBV de Zagtouli et de Kossodo, a estimé pour le dimensionnement, des quantités de boues de 701,2 m³/jour pour 2015 et 961,5 m³/jour pour 2020. Le Plan Stratégique d'Assainissement des eaux usées et excréta de Ouagadougou (PSAO) a fait un calcul du volume de boues qui sera produit journalièrement d'ici à l'horizon 2020 sur la base de la production spécifique de boues produites par type d'ouvrage. Ainsi donc, il ressort qu'environ 938 m³ de boues seront produites chaque jour, dont 888 m³ seront des boues liquides devant être transportées vers les stations de traitement et 40 m³ seront des boues pelletables hygiénisées pouvant être manipulées manuellement et valorisées directement.

II.1.7 Quantité de bio-solides générée à l'issu du traitement.

Sur la base des volumes de boues dépotées par les camions vidangeurs sur les lits de séchages de la STBV de Zagtouli, 11027 m³ de boues ont été enregistrés durant la période allant du mois d'Août à Décembre 2015 (ONEA, 2015). Un calcul réalisé à partir de la teneur moyenne en matières sèches des boues liquides (9,27g/L, valeur obtenue à la suite de nos analyses au laboratoire), la quantité de bio-solide générée a été estimée à environ 122,22 tonnes soit une moyenne de 20,4 tonnes par mois. Cela pourrait atteindre une quantité moyenne de

293,33 tonnes par an. Le potentiel est donc important et une vente de ces bio-solides peut apporter des ressources financières à l'ONEA.

II.1.8 Valorisation des boues en agriculture

Les boues de vidange ont une valeur fertilisante certaine. Celle-ci est connue des agriculteurs depuis des années. Les pratiques d'utilisation des boues en agriculture existent avec tous les risques de contamination que cela peut poser aux agriculteurs aux consommateurs. Il s'est créé une entente entre certains agriculteurs et des vidangeurs mécaniques et les boues sont déversé dans leurs champs sans aucune hygiénisation (figure 3), pour les amender. Cette pratique est courante et plus intense en début de saison pluvieuse. Elle se fait gratuitement ou moyennant une modique somme allant jusqu'à 5 000 FCFA par voyage (Bassan *et al.*, 2010). Or si les boues ne sont pas correctement traitées, les organismes pathogènes qu'elles contiennent sont alors dispersés dans les champs où ils peuvent entrer en contact avec les paysans d'autant plus facilement que ceux-ci sont en contact permanent avec le sol contaminé qu'ils travaillent en général sans protection particulière (Klingel *et al.*, 2002). Les bactéries et œufs de vers peuvent aussi adhérer aux végétaux et infecter les personnes qui les consomment crus ou mal lavés.



Figure 1 : Déversement des boues brutes dans un champ à la périphérie de Ouagadougou.

II.1.9 Risques environnementaux et sanitaires liés aux boues de vidange

II.1.9.1 Risques environnementaux

Les boues de vidange déversées de façon non contrôlée dans l'environnement suite à un manque de systèmes d'élimination adéquats liés à la mauvaise gestion et au manque de ressources financières, peuvent polluer les eaux de surface et les eaux souterraines, les sols, l'air, détruire l'équilibre des écosystèmes et causer les maladies hydriques (Blunier et *al.*, 2004). Une fois déversées dans les eaux de surface, elles peuvent favoriser aussi l'eutrophisation par apport d'éléments minéraux ou provoquer une bioaccumulation d'éléments toxiques qui vont affecter toute la chaîne trophique dont l'Homme est le sommet.

II.1.9.2 Les risques sanitaires

Les boues de vidange contiennent des concentrations élevées en germes pathogènes : des bactéries, des virus, et des protozoaires parasites (Bolomey, 2003). Dans les fosses septiques et les latrines, la couche supérieure de matière fécale contient plus d'organismes pathogènes que dans les eaux usées domestiques issues de l'assainissement collectif. Les nématodes (*Ascaris* et *Ankylostoma*), ont une période de latence de quelques semaines. Par conséquent, les matières fécales ayant séjourné pendant quelques semaines contiennent des nématodes infectieux. Les vidangeurs de même que les populations en contact avec les boues ou les eaux contaminées sont exposés à des risques potentiels considérables. Les catégories d'infections en rapport avec les principales voies de transmission sont résumées dans le tableau 3.

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

Tableau 3 : Classification des infections liées aux excréta basée sur le comportement des agents pathogènes en dehors de l'hôte (Montangero et *al.*, 1999).

Catégories d'infection	Caractéristiques épidémiologiques de l'agent pathogène	Infections typiques	Voies principales de transmission
Fécal-oral (virus et protozoaires)	Pas de latence ; dose infectieuse faible.	-Amibiase -Hépatite A -Infections virales gastro-intestinales.	-Contact personnel -Transmission domestiques (ex : vaisselle)
Fécal-oral (bactéries)	Pas de latence ; persistance considérable ; dose infectieuse moyenne ou élevée ; capacité de prolifération chez quelques agents pathogènes.	-Choléra -Fièvre typhoïde -Shigelle dysentérique	-Contact personnel -Transmission domestique -Aliments, eau
Helminthes (nématodes) sans hôtes intermédiaires	Période de latence et persistance considérables, dose infectieuse faible.	-Ascaridiose -Uncinariose -Trichuriose	-Milieu domestique -Aliments fertilisés avec des eaux résiduelles ou boues fécales -Champs
Helminthes (cestodes) avec comme hôtes intermédiaires le bovin ou le porc	Période de latence et persistance considérables, dose infectieuse faible.	-Teniase	-Milieu domestique -Champs -Fourrage
Helminthes (trématodes) avec comme hôtes intermédiaires des organismes aquatiques	Période de latence et persistance considérables ; hôtes aquatiques intermédiaires ; dose infectieuse faible.	-Schistosomiase	-Excrétion des selles dans les eaux -Mollusques comme hôtes intermédiaires
Transmission par les insectes.	Transmission par les insectes (moustiques,	-Filariose, éléphantiasis	

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

	cafards).	-En principe toutes les infections transmises par les agents pathogènes excrétés	
--	-----------	--	--

Parmi tous les groupes de pathogènes présents dans les boues de vidange, les œufs d'helminthes sont les plus persistants. C'est le cas particulier des œufs d'*Ascaris lumbricoides* qui peuvent survivre dans l'environnement pendant plusieurs mois et à des hautes températures (Gallizi, 2003). Le temps de survie des pathogènes dans le milieu naturel est présenté dans le tableau 4.

Tableau 4 : Temps de survie des organismes pathogènes des boues de vidange à la température ambiante (Strauss et *al*, 2003).

Organismes	Région tempérée (10-15°C) en jour	Région tropicale (20-30°C) en jour
-Virus	< 100	< 20
-Bactéries		
-Salmonelle	< 100	< 30
-Vibron Cholérique	< 30	< 5
-Coliformes fécaux	< 150	< 50
-Protozoaires		
-Kystes amibiens	< 30	< 15
-Helminthes		
-Œufs d'ascaris	2-3 ans	10-12 mois
-Œufs de ténia	12 mois	6 mois

Les risques d'infections à partir des boues sont donc élevés. Ces infections pourraient être évités grâce à un système adapté de gestion des boues de vidange impliquant un système adéquat de vidange des systèmes d'assainissement pourvoyant un risque minimum lors du maniement et du transport et prévoyant un système de traitement des boues aboutissant à une élimination ou une réutilisation sans danger en agriculture (Heinss et *al.*, 1998)

II.2. APERÇU SUR LES OPTIONS DE TRAITEMENT DES BOUES DE VIDANGE

De par leurs caractéristiques les boues de vidange exigent un traitement qui leur sont propre (Klingel et *al.*, 2002) :

- Elles sont trop riches en polluants pour pouvoir être déversées dans les eaux de surface ou traitées avec les eaux usées ;
- Elles sont trop liquides pour être mises en décharge ou traitées comme des déchets solides ;
- Elles contiennent trop de pathogènes pour être déversées dans les eaux de surface ou pour être utilisées directement pour la fertilisation des sols.

Différentes technologies sont utilisées dans le traitement des boues de vidange. Elles mettent à contribution les processus de digestion aérobie et anaérobie, de sédimentation - épaissement et de déshydratation par lits de séchage. Différents types d'infrastructures existent produisant pour la plupart une fraction solide et une fraction liquide de sous-produits. Les différents procédés de traitement des boues de vidanges sont présentés dans la figure 2.

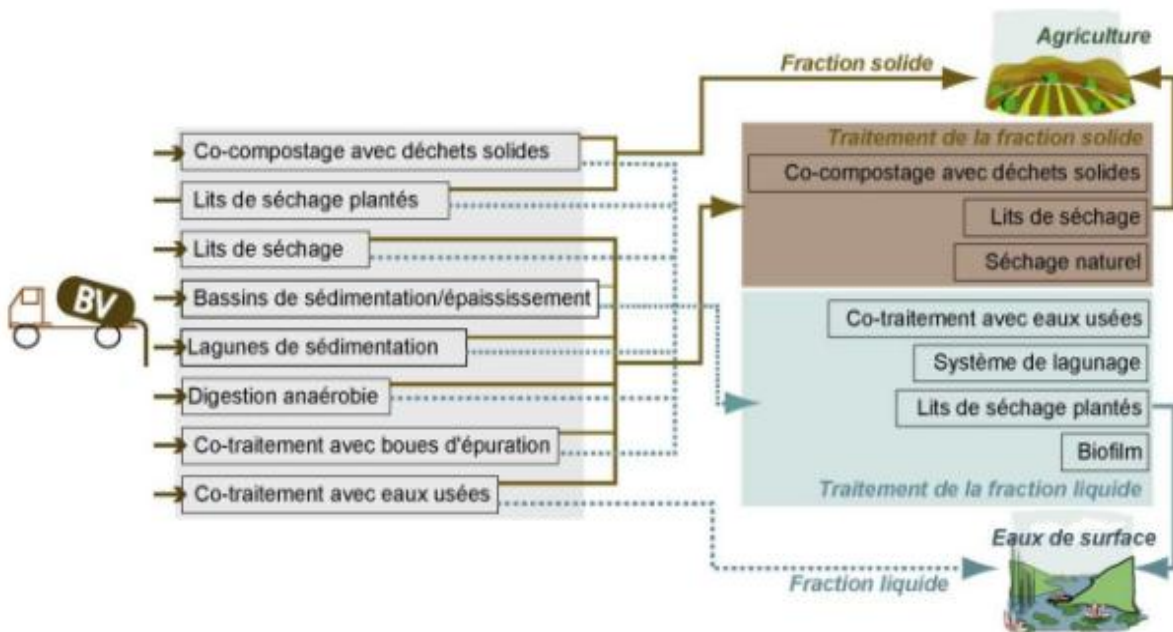


Figure 2 : Vue d'ensemble des technologies de traitement à faible coût des boues de vidange et les combinaisons envisageables (Koanda, 2006).

De tous les procédés de traitement, la séparation des matières solides et liquides qui composent les BV est le processus de choix, sauf s'il est décidé de les co-traiter dans une installation de traitement des eaux usées existante ou planifiée, ou si les charges des BV sont petites par rapport à la circulation des eaux usées. Les matières solides séparées nécessiteront

dans la plupart des cas un stockage, une déshydratation, un séchage ou un compostage supplémentaire, avec comme résultat des bio-solides utilisables comme engrais pour l'amendement des sols. La fraction liquide doit également subir un traitement parallèle et peut servir directement à l'agriculture ou à d'autres objectifs comme l'aquaculture.

II.3. CARACTERISTIQUES AGRONOMIQUES DES BIO-SOLIDES

Les paramètres agronomiques retenus dans cette étude sont la siccité (pourcentage de matière sèche), le pourcentage de matière organique, le pH, la conductivité électrique ainsi que les teneurs en azote total, azote ammoniacal, phosphore, potassium, calcium et magnésium, Sodium, les oligo-éléments tels que le zinc, le plomb, le Cadmium et le Nickel ont été pris en compte. Le rapport C/N et la somme N+P+K ont également été calculés.

II.3.1 Paramètres physico-chimiques

La siccité, le pourcentage de matière organique, la conductivité et le pH sont les principaux paramètres physico-chimiques analysés dans les boues séchées.

II.3.1.1 La siccité

La siccité (ou pourcentage de matière sèche) est un paramètre qui renseigne sur la consistance et la concentration en solides des boues. Une siccité élevée a pour avantage de réduire le volume de boues à transporter et de permettre leur entreposage au champ, ce qui n'est pas autorisé avec les boues liquides. Une siccité élevée facilite également l'acheminement des boues vers des sites de compostage spécialisés.

II.3.1.2 La matière organique

La matière organique d'un amendement est un paramètre agronomique qui revêt une grande importance en agriculture, puisqu'elle améliore la porosité et le pouvoir de rétention de l'eau des sols (N'Dayegamiye et *al.*, 2004). Elle favorise ainsi l'enracinement des plantes cultivées, leur approvisionnement en eau et en éléments nutritifs tout en apportant une source de nourriture aux vers de terre et aux microorganismes utiles (Estevez et *al.*, 1992; N'Dayegamiye et *al.*, 2004).

II.3.1.3 La conductivité électrique

Tout comme les compostes et les eaux usées, les bio-solides pour pouvoir être utilisés dans l'amendement des sols, doivent avoir une conductivité inférieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ qui est la limite de tolérance aux sels des plantes qui sont les plus tolérantes.

II.3.2 Les éléments fertilisants des bio-solides et leurs fonctions nutritives.

Outre leurs propriétés d'amendement organique, les boues contiennent des éléments fertilisants. Leur contenu en azote, en phosphore et en potassium leur confère même des propriétés d'engrais organiques. Elles peuvent donc constituer un substitut ou un complément aux engrais minéraux de synthèse. Selon les données des fiches techniques du CREPA (CREPA, 2006), un humain produit environ 400 litres d'urines par an, cette quantité d'urine étant composée de 4kg d'azote, 0,4 kg de phosphore, 0,9 kg de phosphate. (Le reste étant principalement de l'eau)

Quant aux fèces, un humain produit environ 25 à 50 kg de selles annuellement. Cette quantité de selles contient en moyenne 0,55kg d'azote, 0,18kg de phosphore, 0,37 kg de potasse

Les fèces contiennent aussi de nombreux autres éléments en petites quantités (sodium, chlorure, manganèse, bore, calcium, magnésium, zinc,...). Leur constitution leur donne un haut pouvoir fertilisant.

II.3.2.1 Fonctions des éléments nutritifs majeurs

Les éléments qui influencent le plus sur la croissance des végétaux sont qualifiés d'éléments nutritifs majeurs. Ce sont :

L'azote (N) : est l'élément fertilisant qui influence le plus la productivité végétale (Hébert et *al.*, 2003), il est prélevé dans le sol sous forme soit nitrique (NO_3^-) soit ammoniacal (NH_4^+) et joue plusieurs rôles dans le développement de la plante. L'azote est le moteur de la croissance végétale et contribue au développement végétatif de toutes les parties aériennes de la plante, feuilles tiges et formation des graines d'où sa contribution à l'amélioration du rendement.

Il est important de préciser que seule une fraction de l'azote total des boues sera rapidement rendue disponible aux plantes. Il s'agit de l'azote ammoniacal et de l'azote organique facilement minéralisable. La libération de l'azote contenu dans un amendement organique est liée aux proportions de carbones et d'azotes qu'il contient. En effet Bipfubusa et *al.*, 2006 ont rapportés que les engrais organiques ayant des rapports C/N inférieurs à 20 se minéralisent rapidement et libèrent des quantités importantes d'azote aux cultures. Le ratio C/N constitue donc un indice de la fraction d'azote organique facilement minéralisable des boues non compostés.

Le phosphore (P) : est un autre élément très important pour la croissance des plantes. Son action se concentre sur les racines dont il assure le bon développement. Il favorise également la résistance aux maladies et la fécondation (donc floraison, reproduction et fructification).

Le potassium (K) : est le troisième élément fertilisant majeur en importance pour les plantes. Il contribue à favoriser la floraison et le développement des fruits. Il a également une action de renforcement de la résistance aux maladies et au froid, la limitation de l'évapotranspiration, la rigidité de la tige, et la constitution de la réserve nutritive. En effet, le potassium excrété dans l'urine, étant très soluble, il a tendance à demeurer en solution dans les percolât et à être rejeté dans l'effluent épuré. Par contre il existe dans les bio-solides sous la forme oxydée K_2O .

II.3.2.2 Fonctions des éléments fertilisants mineurs

Des éléments minéraux sont qualifiés de mineurs lorsqu'ils agissent à faible dose dans le développement des plantes. Ce sont :

Le calcium (Ca) : il a un rôle extrêmement important dans la constitution des tissus végétaux et permet aux plantes de mieux se développer. Il permet d'augmenter la résistance des tissus végétaux, une meilleure tenue de la tige et un développement normal du système racinaire.

Le magnésium (Mg) : élément de base de la chlorophylle, il joue par conséquent un rôle important sur la photosynthèse. Elle permet à la plante d'effectuer les transformations chimiques des éléments nutritifs et l'assimilation et la migration du phosphore dans la plante.

Le Sodium (Na) : bien que le sodium joue un rôle mineur dans l'alimentation des plantes, un amendement au sodium a des effets positifs. Il règle la pression osmotique des cellules végétales et conduit à une utilisation plus efficace de l'eau. Il peut aider également à la synthèse de la chlorophylle et chez certaines plantes il peut être utilisé comme substitue du potassium.

II.3.2.3 Fonction des oligo-éléments

On regroupe sous le terme d'oligo-éléments, des substances présentes en très faibles quantités dans un sol et qui permettent aux végétaux de se développer. Sans ces substances, la plante présente des signes de carence et un retard de croissance mais à de très fortes doses ils peuvent être nuisibles. Selon certaines études, dans les pays développés et les pays en développement, la teneur en métaux lourds des eaux usées, des excréta et des boues provenant de sources domestiques sont généralement suffisamment faibles pour permettre

leur utilisation pour la fertilisation des cultures (Jiménez et Wang, 2006 ; CNUEH, 2008 ; OMS, 2006). Les métaux lourds qui sont essentiels au développement des plantes sont :

Le bore : qui permet un accroissement de la cellulose (les formes arbustives) et la fabrication des sucres associés au Potassium.

Le cuivre : qui aide les plantes à absorber l'Azote.

Le fer : Sans lequel les plantes ont du mal à synthétiser la chlorophylle.

Le molybdène : qui aide à l'assimilation de la Potasse.

Le zinc : il est catalyseur de nombreux processus enzymatiques servant à la synthèse des protéines et au métabolisme des glucides.

Il faut noter que les boues contiennent aussi des métaux lourds non essentiels c'est à dire qu'ils n'ont aucun rôle vital dans le métabolisme végétal mais présentent à très forte dose des effets phytotoxiques. A ce groupe appartiennent les éléments chimiques suivants : le Plomb (Pb) ; le Mercure (Hg) ; le Cadmium (Cd) ; le Nickel (Ni) ; le Brome (Br) ; etc...

II.3.2.4 Le Sodium Adsorption Ratio (SAR) des boues séchées

Le SAR mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium contenu dans une substance donnée. Il exprime l'activité relative des ions sodium dans les réactions d'échange dans les sols par rapport au calcium et au magnésium, qui eux peuvent être tolérés en relative grande quantité puisqu'ils structurent les agrégats argileux du sol.

Le sodium en plus de sa toxicité pour les plantes en des concentrations élevées, est à l'origine de la détérioration des caractéristiques physiques du sol. Un usage continu des boues dont le SAR est élevé pour l'amendement d'un sol peut provoquer donc une déstructuration du sol, augmentant ainsi les risques de problèmes liés à la perméabilité de ce sol.

II.3.2.5 Comparaison entre compost et engrais minéraux classiques (NPK)

Les différents aspects qui différencient une fertilisation à l'aide de compost de boue et une fertilisation strictement par engrais minéraux sont résumés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Comparaison entre compost et engrais minéraux classiques (NPK)

Compost de boue	Engrais minéraux
Très riche en matières organiques	Ne contient pas de matières organiques
Riche en NPK	Très riche en NPK
Nourrit le sol et les cultures	Nourrit seulement les cultures
Les éléments nutritifs sont libérés progressivement donc à un impact à long terme sur le sol	Agit rapidement et pendant un temps très bref dans le sol
Améliore la structure du sol et sa perméabilité	Dégrade la structure du sol et sa perméabilité
Contient le calcium, le magnésium et les oligoéléments, indispensables à la croissance des plantes.	Ne contient ni calcium, ni magnésium et n'apporte pas d'oligo-élément aux plantes
Favorise la vie des micro-organismes du sol	Pas d'action en faveur de la vie des micro-organismes du sol
produits naturels	produits chimiques de synthèse
Produit local	Produit importé

II.3.3 Les microorganismes pathogènes des bio-solides

Le sort des pathogènes lors des processus de séparations solides-liquides des BV dépend de leur taille et du degré d'association des particules. A cause de leur grande taille les œufs d'helminthes sont concentrés avec les bio-solides, tandis que les bactéries et les virus peuvent se trouver à la fois dans les boues séchées que dans le liquide (percolât). En fonction des conditions de stockage des boues séchées, certains de ces pathogènes seront détruits par la suite, mais les plus résistants arrivent à échapper à la mort. Ainsi plusieurs auteurs ont rapporté que la destruction des pathogènes est massive dans les couches des boues mais

reconnaissent que certains œufs d'helminthes peuvent survivre pendant de nombreuses années. (Nelson et *al.*, 2004 ; Sanguinetti et *al.*, 2005).

II.3.4 Inactivation des pathogènes des bio-solides

Plusieurs options de traitement à faible coût comme les lits de séchage plantés, les lits de séchage non plantés ou le co-compostage des bio-solides peuvent atteindre une efficacité d'inactivation élevée des œufs d'helminthes lors du traitement des BV. Selon les études de Kengne et *al.*, (2009) au Cameroun, les lits de séchage plantés peuvent réduire la concentration d'œufs d'helminthes de 79 œufs /g MS à 4 œufs/g MS après une période de charge de six mois, suivie d'un repos de six mois supplémentaires. Toujours selon leur étude, durant la période de repos de six mois, la teneur en matière sèche des bio-solides à augmenter de 51 à 77 pour cent. Cependant, les bio-solides n'étaient pas entièrement assainis après cette période de stockage eu égard à la conformité avec les normes de l'OMS de moins d'un œuf/g MS pour des pratiques agricoles sans risque (OMS, 2006). Par conséquent, avant l'épandage direct sur les sols, une période de stockage supplémentaire avec protection contre la pluie, d'au moins un mois ou un autre traitement peut être nécessaire. Sanguinetti et *al.*, 2005 en Argentine, ont trouvé une réduction significative de la viabilité des œufs d'*Ascaris* avec une baisse de l'humidité (moins de 40%) dans les lits de séchages non plantés. Ils affirment donc que le taux d'assainissement des bio-solides dépend du degré de déshydratation.

Pour le cas spécifique du co-compostage, certains auteurs après des essais réussis, le présente comme le moyen le plus efficace qui permet d'assainir les boues de vidange en raison des températures élevées produites pendant le compostage anaérobie. Dans les BV déshydratées co-compostées avec des déchets solides municipaux, une réduction de plus d'une unité logarithmique d'œufs d'helminthes a été obtenue après deux mois (Koné et *al.*, 2007). Au cours du premier mois, la température au centre de la pile de compost était supérieure à 60 °C, et près du bord, elle s'élevait initialement à plus de 45 °C. Ces températures peuvent accroître la perméabilité de la coquille des œufs d'*Ascaris* (Barrett, 1976), permettant le transport de composés néfastes et augmentant le taux de dessiccation des œufs (Capizzi-Banas et *al.*, 2004 ; Feachem et *al.*, 1983 ; Gaspard et Schwartzbrod, 2003). Au regard de ces résultats, la combinaison de lits de séchage non plantés et de co-compostage des boues subséquentement déshydratées peut produire des bio-solides hygiéniques sûrs pour leur réutilisation dans l'agriculture.

II.4. LE PERCOLAT DES BOUES DE VIDANGE

II.4.1 Qualité fertilisante du percolât

Bien que des pertes élevées de nutriments puissent survenir lors du traitement des BV, les effluents contiennent toujours de grandes concentrations d'azote, de phosphate... pouvant servir à l'irrigation. En effet les processus anaérobies dans les dispositifs d'assainissements, minéralisent certes efficacement la matière organique et cette minéralisation génère beaucoup de sels dissous (l'azote Kjeldahl est composé à 80 % de sels ammoniacaux, 97 % du phosphore total est sous la forme d'orthophosphates) ainsi que des acides gras volatils et des ions hydrogénocarbonates (HCO_3^-) qui ne sont pas consommés par la nitrification comme dans les processus aérobies. Tous ces ions contribuent donc à l'enrichissement des matières de vidange en sels dissous qui traversent les lits de séchage et se retrouvent très majoritairement dans les percolât. Lorsqu'il est possible de recycler les percolât pour l'agriculture, la teneur en sels constitue souvent un facteur limitant. En outre la conductivité électrique observée dans les liquides surnageant des bassins de décantation d'Accra variait de 8000 à 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ alors que les limites de tolérance au sel des plantes qui sont les plus tolérantes sont de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. (PSeau, 2003).

II.4.2 Les microorganismes du percolât

D'après l'étude de PSeau au Ghana (rapport final A09, 2003) le percolât obtenu lors de la séparation solide-liquide des BV est totalement exempt d'œufs d'helminthes mais les microorganismes de petites tailles comme les bactéries et les virus se retrouvent principalement dans le liquide (percolât) faisant de ces percolât un produit présentant des risques sanitaires et environnementaux. ces microorganismes peuvent s'attacher au sol et aux plantes et infestent les agriculteurs ou les consommateurs car les plantes sont souvent mangées crues ou mal lavées (Klingel et *al.*, en 2006). Dans ce cas même si la réutilisation du percolât en agriculture n'est pas une option, il doit subir un traitement d'affinage pour satisfaire aux critères d'évacuation dans des eaux de surface.

II.5- Législation et réglementation en matière d'assainissement des eaux usées et des excréta au Burkina Faso

Le secteur de l'assainissement est régi par un ensemble documentaire constitué de loi et des directives internationales. Les textes juridiques applicables en matière d'assainissement dans

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

la commune de Ouagadougou sont en premier lieu, les lois et les règlements nationaux en matière d'assainissement. Les plus importants textes et leurs décrets d'application sont les suivants :

1. Loi n° 23/94/ADP du 19 mai 1994 portant Code de santé publique;
2. Loi n° 014/96/ADP du 23 mai 1996 portant réorganisation agraire et foncière au Burkina Faso ;
3. Loi n° 005/97/ADP du 30 janvier 1997 portant Code de l'environnement au Burkina Faso;
4. Loi N°010/98/AN du 21 avril 1998 portant modalités d'intervention de l'Etat et répartition de compétences entre l'Etat et les autres acteurs du développement;
5. Loi n° 002-2001/AN du 08 février 2001 relative à la gestion de l'eau au Burkina Faso;
6. Loi n° 055-2004 du 21 décembre 2004 portant Code général des collectivités territoriales au Burkina Faso;
7. Loi n°022-2005/AN du 24 mai 2005 portant Code de l'hygiène publique;
8. Loi n° 017-2006/AN du 18 mai 2006 portant code de l'urbanisme et de la construction au Burkina Faso.

Pour la réutilisation des eaux usées et excréta, le Ministère a adopté une loi qui a été les autorités se réfèrent aux normes en vigueur au Burkina Faso et aux principes directeurs proposés par l'OMS.

II.5. II.6 LES ENJEUX DE L'ASSAINISSEMENT

Une bonne gestion de l'assainissement permet de maîtriser les impacts néfastes dans trois secteurs qui sont :

- Impacts sanitaires : Réduction des sources de maladies hydriques, d'infections respiratoires et cutanées (diarrhées, malaria, choléra...)
- Impacts environnementaux :
 - réduction des pollutions : chimique, microbiologique, métaux lourds...
 - réduction des nuisances : odeurs, vue, moustiques, rats...
 - amélioration du cadre de vie : milieu urbain, scolaire, public, privé, relations de voisinage.
- Impacts économiques : amélioration de la productivité agricole, du taux d'éducation scolaire, du bien-être et du tourisme, création d'emplois, revenus de l'utilisation des sous-produits (boues, végétaux, ...)

III. MATERIEL ET METHODES

III.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Notre étude porte sur la totalité de l'agglomération urbaine et péri-urbaine de la ville de Ouagadougou.

III.1.1 Situation Géographique

Ouagadougou, capitale politique du Burkina Faso est situé au centre du pays entre les coordonnées géographiques 1°28 à 1°36 de longitude ouest et 12°20 à 12°26 de latitude nord (Kientéga et *al*, 2001). Elle couvre une superficie de 518 km², soit 0,2 % du territoire national (INSD, 2009).

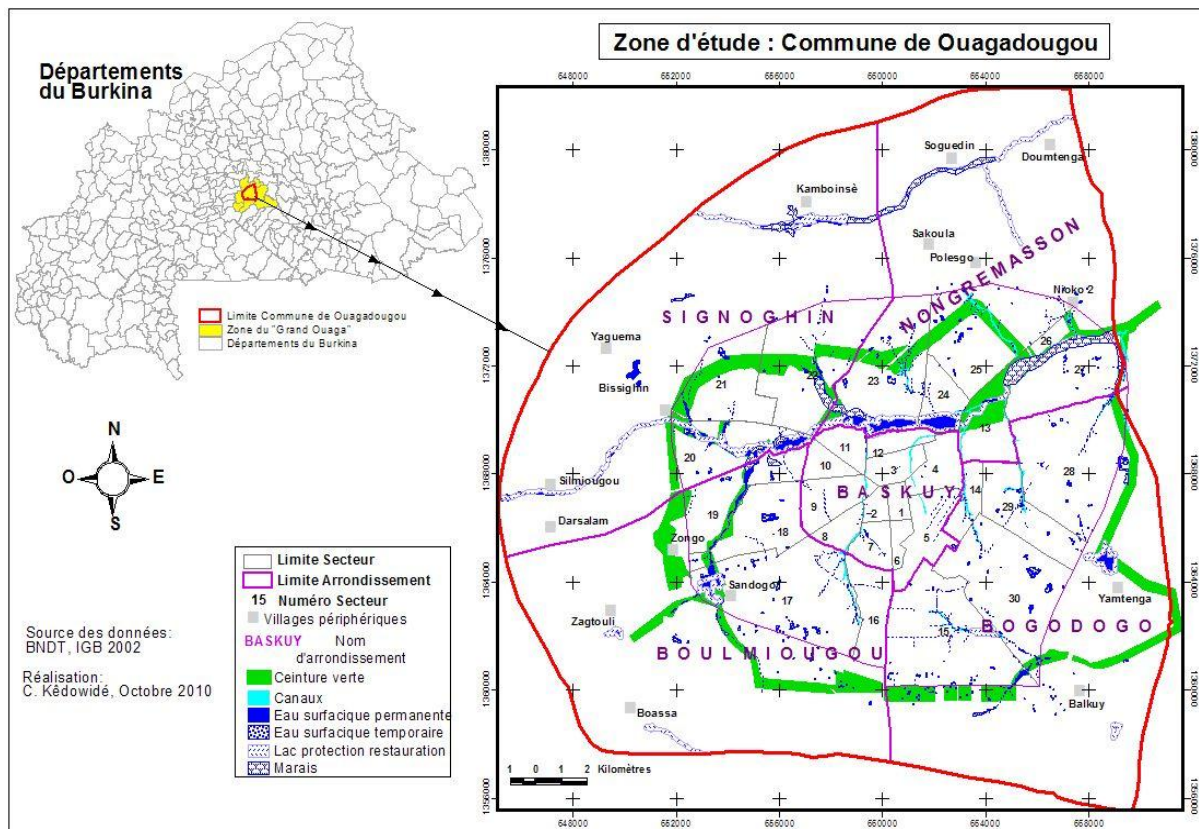


Figure 3 : Présentation de la ville de Ouagadougou (BNDT, IGB 2002)

III.1.2 Le climat

Le climat se définit comme une description des moyennes et des extrêmes météorologiques en un endroit limité. Le Burkina Faso appartient dans son ensemble au climat tropical avec des saisons alternées. La commune de Ouagadougou de par sa situation géographique, a un climat de type soudano-sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 700 mm ;

l'évapotranspiration est évaluée à 2000 mm/an. La ville de Ouagadougou connaît deux saisons : une saison des pluies et une saison sèche. La figure 4 montre la distribution annuelle de la pluviométrie, de l'évaporation et de la température.

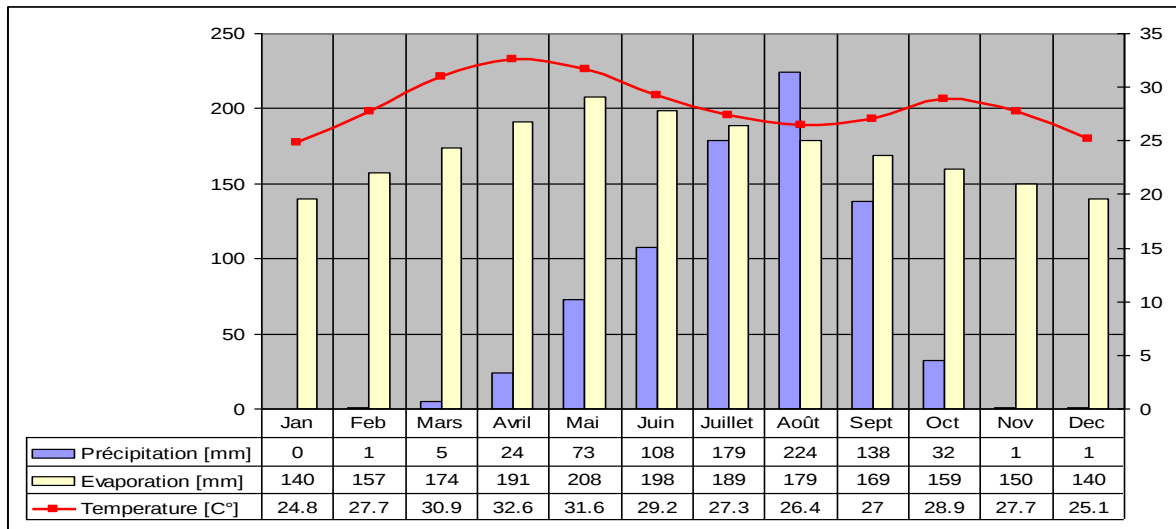


Figure 4 : Données climatologiques de la ville de Ouagadougou (Pöyry, 2010)

On observe une variation annuelle des précipitations, des températures et de l'évaporation. Les mois les plus pluvieux sont juillet, août et septembre, avec les quantités maximales de 224 mm en Août. La période de décembre à février est la plus fraîche en termes de température, alors que la période de mars à juin est la plus chaude. L'évaporation est plus élevée entre avril et juillet.

III.1.3 Sols et végétation

La ville de Ouagadougou repose sur des sols peu profonds et pauvres en éléments nutritifs. Ils sont caractérisés par une faible capacité d'infiltration et de conservation d'eau. Leur perméabilité pour les eaux usées est comprise entre 10 et 40l/j.m² (CREPA, 2004).

La végétation est celle de la zone soudano-sahélienne, dominée par une savane arbustive claire sujette à une dégradation permanente liée aux activités humaines (déforestation, ramassage du sable, feu de brousse, etc.). La forêt classée du barrage (ou Bangr-weogo), celle du « CNRST » et quelques espaces verts constituent désormais pour la ville de Ouagadougou, les grandes réserves forestières (INSD, 2009).

III.1.4 La démographie

Depuis l'indépendance du Burkina Faso, l'évolution démographique de Ouagadougou s'effectue de manière extrêmement rapide. La ville qui ne représentait que 1,3% de la population du pays en 1960-1961, est passée à 10% en 2006. Au recensement de 2006, il a été dénombré dans la ville de Ouagadougou 1.499.023 individus. La ville de Ouagadougou compte pour 46,4 % de la population urbaine totale du pays (3.181.967) (INSD, 2009). Suivant le plan d'aménagement, la population totale de la zone urbaine de Ouagadougou sera légèrement moins de 3 millions d'habitants en 2020, ce qui représente presque le triple de la population de 2006.

III.1.5 Présentation de la station de traitement des boues de vidanges de Zagtouli

Notre étude s'est déroulée à la station de traitement des boues de vidange (STBV) de Zagtouli. La STBV est localisée dans la commune rurale de Zagtouli, une zone péri-urbaine située à l'Ouest de la capitale. C'est le deuxième site de traitement de boues de vidanges de la ville de Ouagadougou, après celui de Kossodo. La figure 5 illustre le plan de la STBV et de la STEP de Zagtouli.

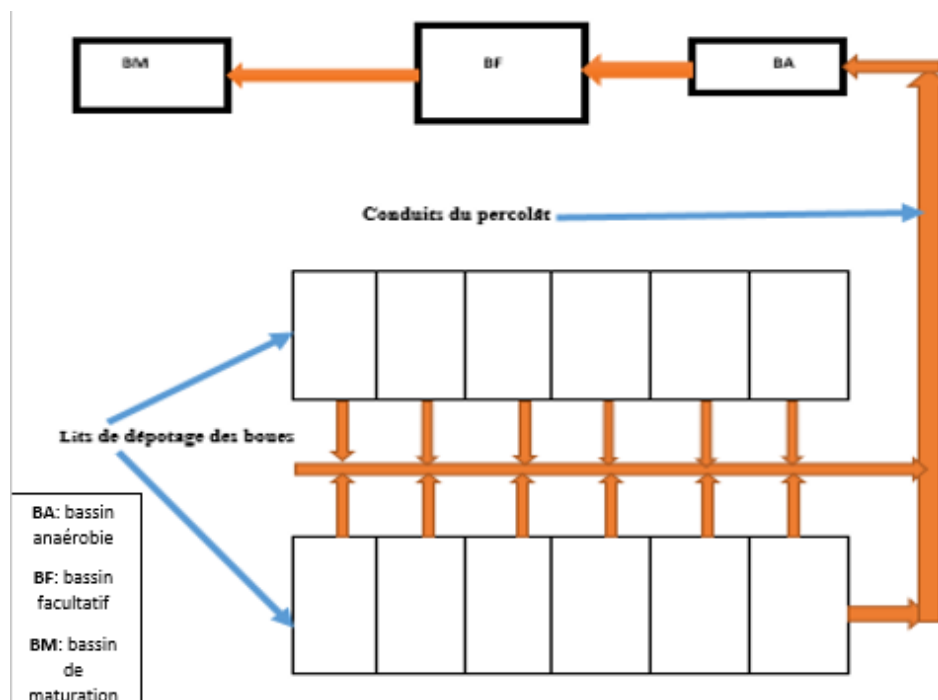


Figure 5 : Plan de la STBV et de la STEP de Zagtouli

La STBV a été dimensionnée pour les capacités suivantes : 125 m³/J à l'horizon 2010 et 250 m³/J à l'horizon 2020, et est composée :

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

- d'une plateforme de 48 ouvrages de dépotage en béton muni chacun d'un dégrilleur et permettant un déversement direct des boues dans les lits. Un ouvrage de réception alimente 2 lits alternativement soit un total de 96 lits pour toute la station.
- de voies d'accès pour les camions.
- d'un pont-bascule permettant de peser les camions vidange à l'entrée de la station.
- d'un bâtiment de service.
- d'une aire de stockage permettant l'entreposage des boues sèches jusqu'à évacuation.
- d'un réseau de collecteurs qui permet l'évacuation du percolât drainé par les lits de façon gravitaire vers une STEP à lagunage. Cette station est destinée au traitement du percolât par lagunage à microphytes. Les caractéristiques de la STEP sont résumées dans le tableau 6.

Tableau 6 : caractéristiques des bassins de lagunage de Zagtoui

	Profondeur (m)	Surface à mi profondeur (m²)	Volume (m³)	Temps de séjour (j)
Bassin anaérobie	2.5	180	450	3
Bassin facultatif	1.5	1500	2250	14
Bassin maturation	1	450	450	3
Total			3150	20

III.2. OBJECTIFS ET PRINCIPE DE TRAITEMENT

Afin de répondre à une bonne gestion des boues de vidange, l'objectif principal fixé est de concentrer et traiter de façon contrôlée les boues de vidanges dans des sites adéquats afin d'éviter la dissémination de pathogènes dans l'environnement immédiat des zones habitées. Une valorisation agricole est aussi envisagée pour permettre la récupération des éléments nutritifs des boues afin de contribuer à améliorer la productivité des sols agricoles et les revenus des agriculteurs, mais elle ne sera possible que si les exigences de traitement sont atteintes. Les étapes d'une bonne et utile gestion des boues de vidange sont illustrées dans la figure 6.

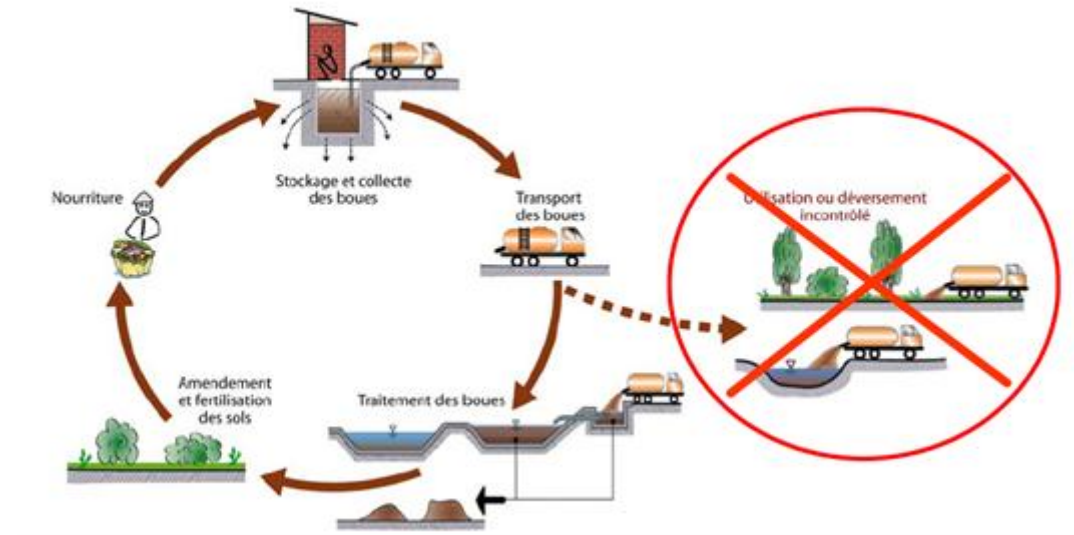


Figure 6 : Etapes d'une bonne gestion des boues de vidange (Strauss et *al*, 2006)

Le principe de traitement se résume comme suit :

- séparation solide-liquide sur lits de séchage non plantés
- traitement de la phase solide sur une aire de séchage naturel partiellement couverte
- traitement de la phase liquide par lagunage et rejet dans le milieu naturel.

III.3. ANALYSES DES BOUES DE VIDANGE

La méthodologie utilisée pour l'analyse des BV comprend, l'échantillonnage des boues, le matériel de d'échantillonnage et les méthodes d'analyses au laboratoire.

III.3.1 Échantillonnage

Les échantillons ont été prélevés une fois par semaine (chaque jeudi) conformément au programme de prélèvement des échantillons du laboratoire Eaux usées de l'ONEA. Les échantillons ont été prélevés durant douze (12) semaines. Au total douze (12) échantillons de boues séchées et trente-six (36) échantillons de percolât ont été recueillis pour les besoins de la présente étude.

III.3.2 Points de prélèvements

Pour les boues sèches, l'échantillonnage a consisté à cibler le nouveau tas de boues au niveau de l'aire de stockage, à prélever les boues dans différents points puis faire un mélange en vue d'obtenir un échantillon composite.

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

Pour le percolât, les points de prélèvements sont : l'entrée et la sortie du bassin anaérobie, puis la sortie du bassin facultatif.

III.3.3 Matériel utilisé et mode de prélèvement

L'échantillonnage des bio-solides a été effectué manuellement et les échantillons introduits dans des barquettes en aluminium muni de couvercle puis dans des sacs en plastiques stériles autoclavables.

Le percolât pour sa part a été prélevé avec des flacons en bouteilles borosilicaté et à l'aide d'une canne. Chaque bouteille d'une capacité de un litre n'est pas remplie totalement afin de préserver un peu d'oxygène pour les microorganismes.

Les échantillons ainsi prélevés sont rangés dans une glacière puis acheminés au laboratoire et conservés dans un frigo à une température de $4 \pm 5^{\circ}\text{C}$.



Figure 7 : (a) photo de prélèvement de boues ; (b) photo de prélèvement du percolât

III.4.METHODES D'ANALYSES DES BOUES SECHEES

III.4.1 Préparation de la poudre de boue pour les différentes analyses

Au niveau du laboratoire, nous avons préparé la poudre de boue de la manière suivante :

- séchage : dans une étuve à 105°C jusqu'à élimination totale de l'humidité.

- broyage de la boue séchée dans un mortier puis le tamisage de la poudre afin d'éliminer les grosses particules.

Cette poudre sera utilisée pour les différentes analyses physico-chimiques. Il faut noter que pour le pH, la conductivité, et la microbiologie les boues n'ont pas été passées à l'étuve.

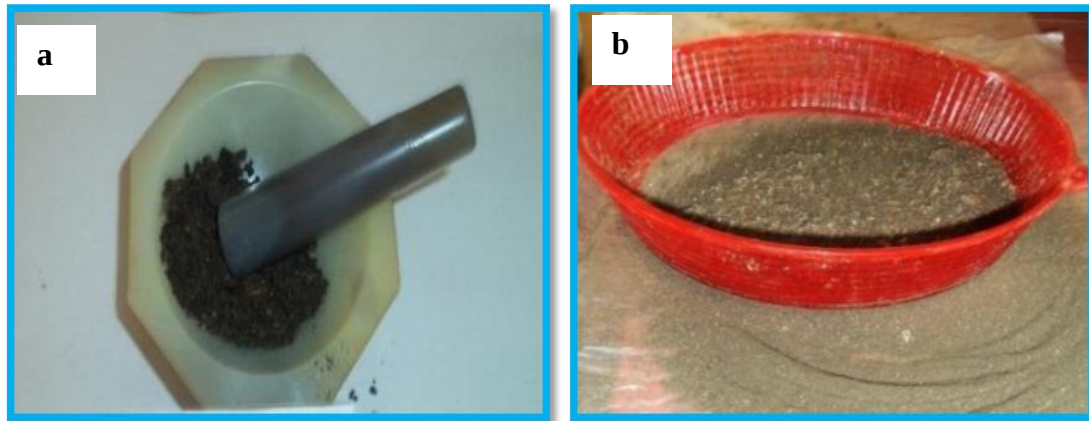


Figure 8 : (a) Photo de broyage des boues ; (b) Photo de tamisage de la poudre de boue

III.4.2 Matière sèche (MS) et taux d'humidité (H)

L'analyse se fait au niveau du laboratoire. Dans un creuset en platine dont la masse à vide est déterminée (masse M_0), on introduit une quantité de boues fraîches. La masse de l'ensemble creuset + boues fraîches est mesurée avec une balance de précision et noté M_1 . Le creuset contenant la boue est introduit dans une étuve réglé à 150°C . Après 2h de séchage, l'ensemble creuset+ boue sèche est refroidi et est à nouveau pesé. On obtient une masse M_2 .

La matière sèche et le taux d'humidité sont déterminés à l'aide des relations 1 et 2 suivantes :

$$\text{MS}(\%) = [(M_2 - M_0) / (M_1 - M_0)] * 100 \quad (\text{équation 1})$$

$$\text{H}(\%) = [(M_1 - M_2) / (M_1 - M_0)] * 100 \quad (\text{équation 2})$$

où :

MS est la teneur en matière sèche de l'échantillon de boue en pourcentage;

H est le taux d'humidité des boues en pourcentage ;

M_0 est la masse du creuset vide, en grammes ;

M_1 est la masse du creuset contenant l'échantillon de boues, en grammes ;

M_2 est la masse du creuset contenant la matière sèche de l'échantillon de boues après séchage à 105°C , en grammes.

III.4.3 Détermination de la perte au feu (MO) et de la matière minérale

La perte au feu permet de mesurer directement la matière organique et la matière minérale existante dans l'échantillon de boue. L'ensemble creuset + boues sèches précédemment obtenu est introduite dans un four réglé à 550°C. Après 1 heure 30 minutes de calcination, l'ensemble est retiré du four et mis dans un dessiccateur pour refroidir pendant 15 minutes. On pèse à nouveau et on obtient une masse M_3 .

La matière organique et la matière minérale de l'échantillon de boue sont obtenues en appliquant les relations 3 et 4 suivantes :

$$\text{MO (\%)} = [(M_2 - M_3) / (M_2 - M_0)] * 100 \quad (\text{équation 3})$$

$$\text{MM (\%)} = [(M_3 - M_0) / (M_2 - M_0)] * 100 \quad (\text{équation 4})$$

où :

MO est la teneur en matières sèches volatiles de l'échantillon de boues, en pourcentage

MM est la teneur en matière minérale de l'échantillon des boues, en pourcentage ;

M0 est la masse du creuset vide, en grammes ;

M2 est la masse du creuset contenant la matière sèche de l'échantillon de boues après séchage à 105°C, en grammes;

M3 est la masse du creuset contenant la matière calcinée de l'échantillon de boues après calcination à 550°C, en grammes.

III.4.4 Le pH

Mesuré à l'aide d'un pH-mètre WTW INOLAB- pH 7310 à électrode de verre plongé dans une suspension 1/2.5 (1 volume de boue pour 2.5 volume d'eau distillée). Dans un bécher en plastique de 100 ml, introduire 20g de boue et ajouter 50 ml d'eau distillée. Puis agiter pendant 10 minutes. Laisser reposer pendant 30 mn et mesurer le pH.

III.4.5 La Conductivité

Mesuré à l'aide d'un Conductimètre WTW INOLAB- Cond 7310 à électrode de verre plongé dans une suspension 1/5 (1 volume de boue pour 5 volumes d'eau distillée). Dans un bécher de 100 ml, introduire 20g de boue et compléter avec l'eau distillée. Agiter pendant 10 minutes et laisser reposer pendant 30 minutes puis mesurer la conductivité.

III.4.6 Dosage Du Carbone Organique Total

La teneur en carbone organique du matériel est déterminée après oxydation. Par addition à la

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

prise d'essai à analyser d'un mélange bichromate de potassium-acide sulfurique, il y a décomposition des combinaisons organiques accompagnée d'un fort dégagement chaleur. Le bichromate non transformé est titré en retour avec une solution de sulfate de fer.

Peser une portion de solide entre 0,25 g et 1,0 g de boue dans une fiole conique de 250 ou 300 ml et y ajouter 10 ml de bichromate de potassium 1 N. Mettre un barreau aimanté dans la fiole. Ajouter lentement et à petites doses 20 ml d'acide sulfurique concentré et placer un verre de montre sur la fiole conique. Agiter vigoureusement pendant 1 minute et laisser reposer pendant 30 minutes. Rincer le verre de montre et ajouter 150 à 200 ml d'eau déminéralisée, 10 ml d'acide phosphorique concentré et 10 à 15 gouttes de la solution indicatrice de ferroïne. Titrer l'excès de bichromate de potassium avec la solution de sulfate ferreux 0,5 N. Lors de l'apparition de la coloration turquoise, titrer lentement jusqu'à la coloration finale brune. Noter le volume utilisé.

Préparation d'un témoin :

Introduire dans un erlenmeyer un barreau aimanté, 10 ml de bichromate de potassium 1 N et 20 ml d'acide sulfurique. Couvrir d'un verre de montre puis agiter vigoureusement pendant une minute avant de poursuivre la procédure décrite aux paragraphes précédents.

Calcul et expression des résultats

Les résultats sont exprimés en % C. En considérant les concentrations de sulfate ferreux et du bichromate de potassium, chaque ml de bichromate de potassium qui réagit correspond à 4 mg de C. Le pourcentage de carbone dans l'échantillon est déterminé au moyen de la relation 5 suivante :

$$C = \frac{(A-B) \times 10 \times 0,004 \times 100}{P \times A} \quad (\text{équation 5})$$

où

C : concentration de carbone organique (% C);

A : volume de sulfate ferreux utilisé pour le témoin (ml);

B : volume de sulfate ferreux utilisé pour l'échantillon (ml);

10 : volume de bichromate ajouté initialement;

0,004 : nombre de g de C par ml de bichromate;

P : poids de l'échantillon titré exprimé sur base sèche (g);

100 : facteur pour obtenir un pourcentage.

III.4.7 Azote Total Kjeldhal (NTK)

Ce paramètre s'obtient par minéralisation de l'échantillon en milieu acide et en présence de catalyseur. L'azote organique est converti en azote ammoniacal qui est entraîné par la vapeur en milieu alcalin. Le dosage par titrimétrie permet d'atteindre la teneur en NTK à partir d'une formule.

La manipulation se déroule en 3 étapes :

- une minéralisation dans un tube Kjeldhal de 100ml d'échantillon et 10ml d'acide sulfurique concentré dans un minéralisateur BUCHI K-435 successivement aux températures suivantes : 180°C pendant 2h, 250°C pendant 2h, 340°C pendant 2h et laisser refroidir pendant 24h ;
- une distillation dans un distillateur BUCHI K-355 ;
- un dosage par titrimétrie avec chlorhydrique 0.04mol/l.

La teneur en azote Kjeldhal exprimée en milligramme d'azote par litre est donnée par l'équation 6 suivante :

$$\text{NTK (mg/L)} = (V - V_0) \times 0,04 \times 14 \times 1000 / V_1 \quad (\text{équation 6})$$

où :

V : volume en millilitre d'acide chlorhydrique utilisé pour le dosage

V₀ : volume en millilitre d'acide chlorhydrique utilisé pour l'essai blanc

C : concentration en mol/litre de la solution titrée d'acide chlorhydrique utilisé pour le dosage

V₁ : volume en millilitre de la prise d'essai

III.4.8 Azote ammoniacal (N-NH₄⁺)

L'azote ammoniacal réagit avec le Nessler pour donner une coloration jaune orangée. Le développement de la coloration est fonction de la teneur d'ammonium présent.

Dans une fiole de 200 ml, introduire 1g de boue sèche et ajouter 100 ml d'eau distillée. Après dissolution, filtrer et, prélevé 25 ml du filtrat qu'on introduit dans une cuve de 25ml. Ajouter 1ml du réactif Nessler puis agiter le contenu pour homogénéiser. Laisser réagir et introduire la cuve dans le Spectrophotomètre DR 5000 pour la lecture.

La teneur en NH₄⁺ obtenue est exprimée directement en (mg/L).

III.4.9 Détermination de l'oxyde de calcium (CaO)

La concentration de calcium dans l'échantillon de boue est déterminée par titrage à l'EDTA

après une extraction à l'eau régale.

Ainsi pour l'extraction, 1g de boue sèche broyée et tamisée est introduite dans un bécher. On y ajoute 20 ml de HCl 6N et on chauffe ce mélange sur la plaque chauffante couplé à un système d'agitation pendant une demi-heure à une température de 200°C. On verse le mélange dans un bécher de 100 ml et on complète jusqu'au trait de jauge avec de l'eau déminéralisée. Filtrer le liquide avec un papier filtre dans une fiole de 200 ml. La solution obtenue servira au titrage des ions Ca^{2+} et Mg^{+} .

Pour le dosage du calcium, prendre un volume de 10 ml de la solution précédente dans une fiole de 50 ml et compléter avec l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge puis homogénéiser. Le mélange est renversé dans un bécher puis on ajoute une pincée de calcon et 2ml de NaOH 1N. Le mélange prend une coloration violette. Titrer avec l'EDTA 0.02 N jusqu'à la disparition de la coloration violette puis noter le volume. La concentration des ions Ca^{2+} dans l'échantillon de boue est obtenue avec la formule 7 suivante :

$$[\text{Ca}^{2+}]_{(\text{mmol/L})} = (V_{(\text{ml})} * 0,2) * 5 \quad (\text{équation 7})$$

En multipliant cette dernière concentration par la masse molaire de CaO on obtient sa concentration en mg/L. Enfin en multipliant par le volume final extrait suite à la digestion des 1g de boue, on obtient la masse de CaO présente dans 1g de boue sèche. Ce résultat peut être exprimé en pourcentage.

III.4.10 Détermination du TH et de l'oxyde de magnésium (MgO)

Prendre une de 10 ml du filtrat précédent dans une fiole de 100 ml et compléter avec l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge puis homogénéiser. Prélever 50 ml et le renverser dans un bécher puis ajouté 4 ml du tampon pH10 plus 2 gouttes du NET. Le mélange prend une coloration violette. Titrer avec l'EDTA 0.02 N jusqu'à la disparition de la coloration violette et apparition de la coloration bleue, puis noter le volume. La dureté totale est obtenue avec la formule 8 suivante :

$$[\text{TH}]_{(\text{mmol/L})} = (V_{(\text{ml})} * 0,2) * 10 \quad (\text{equation 8})$$

La concentration en ions magnésium se déduit des deux déterminations précédentes. On obtient donc la formule 9 suivante :

$$[\text{Mg}^{+}]_{(\text{mmol/L})} = [\text{TH}]_{(\text{mmol/L})} - [\text{Ca}^{2+}]_{(\text{mmol/L})} \quad (\text{équation 9})$$

En multipliant cette dernière concentration par la masse molaire de MgO on obtient sa concentration en mg/L. Enfin en multipliant par le volume final extrait suite à la digestion des

1g de boue, on obtient la masse de MgO présente dans 1g de boue sèche. Ce résultat peut être exprimé en pourcentage.

III.4.11 Détermination de la teneur en Phosphore total (P_2O_5)

III.4.11.1 Digestion des échantillons à l'acide nitrique-acide sulfurique.

NB : Il est nécessaire d'exécuter ce mode opératoire sous une hotte bien ventilée.

Avant utilisation, laver toute la verrerie avec une solution d'acide chlorhydrique (2,5 mol/L) à environ 50 °C, puis rincer soigneusement à l'eau. Ne pas utiliser de détergents contenant des phosphates. Peser 1g de boue dans un flacon en verre borosilicaté, ajouté 50 ml d'eau distillé et agiter pour mélanger. Ajouter 2 ml d'acide sulfurique (1,84 mol/L), chauffer sur une plaque chauffante pendant 30mn à 200°C et sous agitation continue jusqu'à l'apparition de fumées blanches. Laisser refroidir, ajouter goutte à goutte et avec précaution 0,5 ml d'acide nitrique (1,40 mol/L), tout en agitant, chauffer encore jusqu'à ce que les fumées rousses disparaissent. Après refroidissement, ajouter avec précaution 20 ml d'eau sous agitation continue. Pendant que la solution refroidit, ajouter avec précaution et sous agitation continue la solution d'hydroxyde de sodium NaOH (1N) pour ajuster le pH à une valeur comprise entre 3 et 10. Après refroidissement, ajouté 50 ml d'eau distillée et filtré ou centrifugé. Noter le volume final.

III.4.11.2 Dosage Spectrométrique avec l'appareil SHIMADZU-UV1800

Préparation des solutions d'étalonnage

Des solutions d'étalonnage filles ont été préparées à partir d'une solution étalon mère d'ortho-phosphate de concentration 50 mg/l. Sur une série de cinq fioles de 100 ml chacun, introduire respectivement 0,2 ml, 4 ml, 20 ml, 60 ml et 100 ml de la solution mère d'ortho-phosphate. Compléter dans chaque fiole avec l'eau distillée jusqu'au volume 100 ml. (Sauf la cinquième fiole). Fermer et bien homogénéiser. On obtient ainsi des solutions filles d'ortho-phosphate avec des concentrations respectives de 0,1 mg/l, 2 mg/l, 10 mg/l, 30 mg/l et 50 mg/l.

Établissement de la courbe d'étalonnage

Les solutions d'étalonnages sont complétées avec les réactifs comme décrite ci-dessous et après développement de la coloration les lectures se font au spectrophotomètre. Les absorbances ont été ensuite représentées graphiquement (en ordonnée) en fonction des teneurs en phosphore (en abscisse), exprimée en milligrammes de phosphore par litre. La relation entre les absorbances et les concentrations est linéaire.

Développement de la coloration

Ajouter dans chaque fiole de 50 ml contenant 1ml de l'échantillon, (tout en agitant), 1 ml d'acide ascorbique (100g/L), puis au bout de 30 s, 2 ml de Solution II de molybdate acide. Compléter au volume avec de l'eau distillée et bien mélanger. Une coloration bleue se développe.

Essai à blanc

Parallèlement au dosage, effectuer un essai à blanc en suivant le même mode opératoire et en utilisant les mêmes quantités de réactifs que pour le dosage, mais en remplaçant la prise d'essai par de l'eau distillée.

Mesurages spectrométriques

À l'aide du spectromètre, mesurer l'absorbance de chaque solution à 880 nm. La concentration en phosphore total, est exprimée en milligrammes par litre (mg/l) est calculée et affichée après exploitation automatique de la courbe d'étalonnage.

III.4.12 Extraction des métaux lourds totaux

L'extraction des métaux lourds s'est faite par la méthode dite de l'eau régale. Ainsi, peser dans un erlenmeyer rodé de 250ml, 1 g de l'échantillon préalablement séché (105°C pendant 24heures) et broyé. Ajouter 1 ml de HNO₃ 95% et 3 ml d'HCl 37%, concentrés. Chauffer jusqu'à ébullition. Maintenir l'ébullition durant 15 mn. Après refroidissement et rinçage du réfrigérant par quelques ml d'eau déminéralisée, filtrer le contenu de l'erlenmeyer sur filtre en papier ou sur une membrane de type Millipore dans un ballon jaugé de 50 à 100 ml selon les besoins. Rincer plusieurs fois le résidu insoluble retenu sur le filtre par quelques ml d'eau déminéralisée ; amener à volume.

NB : lors des manipulations tout le matériel étant en contact avec les échantillons de boue et les minéralisats ont été lavés avec une solution d'EDTA pendant 24heures puis dans une solution d'acide nitrique à 1% pendant 24heures également. Les réactifs utilisés (HNO₃ 95% ; HCl 37%) étaient de qualité supra pure.

III.4.12.1 Dosage des métaux lourds

La détermination des teneurs en métaux lourds s'est faite par spectrophotométrie d'absorption atomique au four graphite et à la flamme. L'équipement utilisé est spectrophotomètre AA900 Perkin Elmer. La préparation précédente est introduite en lecture après le tracé d'une courbe d'étalonnage pour chaque métal mesuré. Les courbes d'étalonnage sont réalisées avec des

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

solutions certifiées et suivant un protocole validé par le laboratoire. Les métaux analysés sont ceux pour lesquels la réalisation était possible au laboratoire de l'ONEA. Pour certains autres quoique importants pour l'examen des caractéristiques nécessaires à une valorisation agronomique, l'absence de protocole validé ou de réactifs ne nous ont pas permis de les analyser.

III.4.12.2 Dosage du Cadmium, Plomb et Nickel avec le four graphite de l'AAS auto échantillonneur.

Cela a consisté en un dosage d'échantillon dans le four graphite d'un spectrophotomètre d'absorption atomique d'une prise d'essai de l'échantillon ou de l'échantillon dilué. Détermination directe de la concentration de chaque élément à l'aide d'une courbe d'étalonnage, soit à partir de l'absorbance spécifique de chacun des éléments à l'aide d'un spectrophotomètre équipé d'un système de correction de fond continu, après avoir effectué une correction avec l'absorbance non spécifique.

III.4.12.3 Dosage du sodium, potassium et du zinc avec la flamme d'AAS.

Nébulisation dans la flamme d'un spectrophotomètre d'émission d'une prise d'essai de l'échantillon ou de l'échantillon dilué. Détermination directe de la concentration de chaque élément à l'aide d'une courbe d'étalonnage, à partir de l'émission de chacun des éléments à l'aide d'un spectrophotomètre équipé d'un système de correction de fond continu.

III.5. ANALYSE MICROBIOLOGIQUE DES BOUES

III.5.1 Analyse bactériologique

L'analyse bactériologique a été effectuée pour déterminer les indices de pollution des boues sèches selon la norme européenne AFNOR qui précise les valeurs limites des germes pour qu'une boue soit valorisable comme engrais.

Mode opératoire

Préparation de l'échantillon

L'échantillon est hydraté à hauteur de 90% avec de l'eau physiologique stérile. C'est-à-dire 1g de boue dans 9 ml d'eau physiologique stérile (le Ringer). On agite vortex pendant 1 à 2 mn. On procède à une dilution en série ou en cascade à partir de l'échantillon précédent.

Ensemencement et méthode de dénombrement

1 ml de chaque dilution est déposé sur la gélose dans la boîte de Pétri correspondant. La technique choisie pour réaliser l'ensemencement est l'étalement au râteau (pipette pasteur transformer en râteau par flambage). Les milieux de culture utilisés sont : le Chromocult-coliform-Agar extra-sélectif pour l'isolement des *E. coli* et des coliformes fécaux, et le m-Entérocoque-Agar pour l'isolement des Streptocoques fécaux.

Après ensemencement, toutes les boîtes sont incubées dans une étuve à 44±5°C pendant 24h à 48h pour les germes thermo-tolérants et dans une autre étuve à 37±5°C pendant 24h à 48h pour les Streptocoques fécaux.

Après incubation, le dénombrement se fait en comptant le nombre de colonies sur chaque boîte. Les colonies typiques de *E. coli* sont bleues ou violettes et les colonies rouge ou roses sont typiques aux coliformes fécaux. Et sur la gélose m-Entérocoque, les colonies rouges ou marron sont typiques aux Streptocoques.

Les résultats sont exprimés en unités formant des colonies (UFC) par 100 g d'échantillon humide ou UFC par g d'échantillon humide, selon les équations générales suivantes :

$$UFC/100g(poids\ humide) = \frac{\text{Nombre de colonies comptés}}{\text{poids de l'échantillon humide en g}} \times 100 \text{ (eq.10)}$$

Le poids de l'échantillon analysé est déterminé de la façon suivante : 1 ml de la dilution de 1 gramme d'échantillon dans 9 ml de Ringer correspond à 0,1 g d'échantillon analysé. Les dilutions en séries effectuées par la suite correspondent à 0,01 g, 0,001 g, 0,0001 g, etc. d'échantillon analysé.

III.5.2 Recherche et dénombrement des œufs d'helminthes viables

Elle s'est fait suivant la méthode J. Schwartzbrod et *al.*,. Cela a consisté à suspendre 25g de boues sèches dans un litre d'eau de robinet puis agiter à l'aide d'un agitateur magnétique et d'un barreau aimanté pour dissoudre (2 heures environ). Laisser au repos (sédiment) pendant 3 h. Récupérer le maximum de surnageant possible .Placer le sédiment dans un flacon de centrifugation de 450 ml. Centrifuger à 1400 tours/mn pendant 10mn. Récupérer la phase liquide (surnageant) et verser la phase solide (dépôt) dans un volume de 150 ml avec du sulfate de zinc de densité 1,3

Homogénéiser avec une spatule. Centrifuger à 1050 tours/mn pendant 3 minutes. Verser le surnageant du sulfate de zinc dans un flacon de 2 litres et le diluer avec au moins 1litre d'eau.

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

Laisser au repos pendant 3 h. Récupérer le maximum du surnageant et suspendre le dépôt en l'agitant et le vidant dans 2 tubes de 50 ml et rincer 2 à 3 fois avec de l'eau distillée. Centrifuger à 1600 tours/mn pendant 3 minutes. Regrouper les dépôts dans un tube 50 ml et centrifuger à 1600 tours/mn pendant 3 minutes. Suspendre à nouveau dans 5 ml d'une solution d'acide acétique et ajouter 10 ml d'éther éthylique ou 5 ml d'acétate d'éthyl.

Secouer et ouvrir occasionnellement pour laisser sortir le gaz. Centrifuger à 660 g pendant 3 minutes. Trois phases se distinguent dans chaque tube, les œufs se concentrent au fond du tube en cône. Eliminer les deux premières phases et laisser 1ml environ. Déposer entre lame et lamelle une goutte d'environ 0,05 ml, observé au microscope puis compter les œufs.

Quantification

Nombre œufs d'helminthes/litre = (somme des œufs d'helminthes présents/Volume)*k

V = volume de l'échantillon initial de boue

k = constant due à la performance de la méthode (k=1.42)

Déduire le nombre d'œufs au poids de la boue sèche diluée.

III.6. METHODES D'ANALYSE DU PERCOLAT

Les caractéristiques du percolât ont été obtenues en se référant aux analyses usuellement pratiquées sur les eaux usées. Les détails des différentes méthodes d'analyses sont présentés en annexe.

III.6.1 Paramètres physico-chimiques et microbiologiques

Le **tableau 7** résume les méthodes utilisées pour l'analyse des paramètres physico-chimiques du percolât.

Tableau 7 : méthodes d'analyses des différents paramètres physico-chimiques

Paramètres	Unités	Méthodes
Conductivité	mS/cm	AFNOR 90-031
Température	°C	AFNOR 90-008
pH	-	AFNOR T 90- 08
DCO	mg O ₂ /L	Méthode standard
DBO ₅	mg O ₂ /L	Méthode aux Oxitop
MES	mg/L	AFNOR T 90 105

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

<i>E. coli</i> et CF	UFC /100mL	Ensemencement sur gélose spécifique (chromocult-coliform-Agar pour coliformes)
Streptocoques Fécaux	(UFC /100mL)	Ensemencement sur milieux spécifique m-entérocooccus

III.6.2 Méthode d'analyse des éléments minéraux par spectrophotomètre.

Le tableau 8 résume les méthodes utilisées pour l'analyse des éléments minéraux du percolât

Tableau 8 : méthodes d'analyse des éléments minéraux

Paramètres	Réactifs utilisés	Méthodes
Sulfates (SO_4^{2-}) (mg/l)	SulfaVer 4	HACH 8051 Méthode SulfaVer
Nitrates (NO_3^-) (mg/l)	NitriVer 5	HACH 8039 méthode de réduction au cadmium
Ortho-phosphates (PO_4^{3-})(mg/l)	PhosVer 3	HACH 8114 Méthode PhosVer 3

III.7. TRAITEMENT DES DONNEES, CALCUL DES ABATTEMENTS ET DU SAR.

Les données sont traitées en utilisant Excel 2010. La détermination de la performance épuratoire de la STEP est donnée par la différence des concentrations à l'entrée et à la sortie de chaque unité de traitement. Elle s'exprime en pourcentage. La formule ci-dessous utilisée pour la détermination du rendement :

- **Calcul du rendement épuratoire en pourcentage :**

$$R (\%) = \frac{[Pi] - [Pe]}{[Pi]} \times 100 \quad (\text{équation 11})$$

avec R : rendement épuratoire exprime en pourcentage (%)

[Pi] : concentration du paramètre de l'influent

[Pe] : concentration du paramètre de l'effluent.

- **Détermination d'abattement en u log des bactéries :**

$$\text{Abattement (u.log)} = -\log_{10} \left(1 - \frac{\text{rendement} (\%)}{100} \right) \quad (\text{équation 12})$$

Rendement (%) : rendement épuratoire exprime en pourcentage (%).

- **Calcul du Sodium Adsorption Ratio (SAR)**

$$SAR = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}} \quad (\text{équation 13})$$

Avec SAR= Sodium Adsorption Ratio

[Na]= concentration du sodium en mmol/L

[Ca]= concentration du calcium en mmol/L

[Mg]= concentration du magnésium en mmol/L

IV. RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. LES BOUES SECHEES OU BIO-SOLIDES

Les bio-solides sont la partie solide des BV obtenus après séparation avec la phase liquide et ayant subi un séchage plus ou moins prolongé.

La figure 9 présente les boues de vidanges déshydratées encore étalées sur le lit de séchage. Après un temps de séjour de deux semaines sur les lits, les boues sont raclées et entreposées en tas où le séchage se poursuit.



Figure 9 : Photo des boues de vidange séchées sur lit et d'un tas de bio-solides

Dans le cadre de la gestion adéquate des BV, plusieurs analyses ont été faites sur la caractérisation des polluants physico-chimiques et microbiologiques des boues brutes de la ville de Ouagadougou afin de dimensionner les unités de traitements.

Des propositions de valorisations des BV comme matières fertilisantes sont envisagées mais peu d'études ont été faites sur l'analyse des teneurs réelles en éléments fertilisants contenus dans les boues séchées ni sur la qualité hygiénique de ces bio-solides. Compte tenu de l'absence de normes nationales sur les éléments fertilisants des bio-solides valorisables, les normes AFNOR NFU 44-095 applicables aux compostes ont été utilisées pour l'exploitation de nos résultats des paramètres agronomiques. Le principe de cette norme stipule que tout compost dont la qualité est conforme à ses exigences n'est plus un déchet mais un produit qui peut être utilisé comme n'importe quel engrais organique ou support de culture. Concernant les métaux lourds, le SAR et les paramètres des percolats, les normes OMS ont été utilisées. Au cours de cette étude plusieurs échantillons ont été analysés et les moyennes des résultats résumés dans les tableaux suivants. Les détails des résultats étant présentés en annexe 2.

IV.1.1 Résultats d'analyses des boues séchées

IV.1.1.1 Paramètres physico-chimiques des bio-solides

Le tableau 9 présente les statistiques des résultats sur les caractéristiques physico-chimiques des boues séchées et leurs normes.

Les analyses des paramètres physico-chimiques des boues séchées donnent des valeurs extrêmement variables. Respectivement on enregistre les teneurs suivantes : la matière sèche fluctue dans [67,42% - 95,93%] avec une moyenne de 87,14%, le taux d'humidité varie de [4,07% - 32,58%] avec une moyenne de 12,86%, le pH évolue dans l'intervalle [6,28 - 7,5] avec 6,61 comme valeur moyenne, la conductivité électrique [644 μ S/cm - 3310 μ S/cm] avec une moyenne de 1730 μ S/cm, la matière organique [33,01% - 55,03%] avec une moyenne de 47,23%, et enfin la matière minérale [44,97% - 66,99%] avec une moyenne de 52,77%.

Tableau 9 : Statistiques des caractéristiques physico-chimiques des boues séchées avec leurs normes.

Paramètres	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Normes
					NFU44095
MS (%)	12	67,42	95,93	87,14	>50%
Humidité(%)	12	4,07	32,58	12,86	
pH	12	6,28	7,5	6,61	
Cond (μS/cm)	12	644	3310	1730	
MO (%)	12	33,01	55,03	47,23	>30%
MM (%)	12	44,97	66,99	52,77	

N= nombre d'échantillons analysés

Les variations constatées peuvent être liées à la nature même des boues brutes car les charges dépotées sur les lits de séchage diffèrent énormément.

Une analyse de ces résultats révèle que :

D'une part le pH avec une valeur moyenne de 6,28 indique que les bio-solides sont faiblement acide comparativement au pH des boues brutes qui généralement est proche de la neutralité. Cela peut être lié à l'évacuation dans le percolât de certains ions à caractère basique. La conductivité électrique, avec une moyenne de 1730 μ S/cm et une valeur maximale de 3310 μ S/cm montre que les éléments minéraux des bio-solides ne sont pas en quantités

élevées qui puisse causer des dommages aux sols. Cela peut s'expliquer par l'évacuation de la majorité des ions et des sels dissouts avec le percolât car les boues brutes dans la plus part des cas ont des conductivités très élevées. Quant à la matière minérale, sa teneur moyenne de 52,77% et maximale de 66,99% montre que les boues déshydratées contiennent plus de substances minérales que de substances organiques. Ces fortes teneurs se justifient par la présence dans les boues de nombreux grains de sables ramassés sur les lits de filtration.

D'autre part l'analyse comparative des teneurs des paramètres agronomiques avec les exigences de la norme NFU 44-095 montre que les boues séchées peuvent servir pour l'amendement des sols. En effet la siccité ou pourcentage en matières sèches dont la teneur moyenne de 87,14% est supérieure à 50% exigée par la norme. Les boues sont donc bien déshydratées et peuvent facilement être transportées dans les champs ou sur des sites de compostage.

La matière organique d'un amendement est un paramètre agronomique qui revêt une grande importance en agriculture. Selon la norme NFU 44-095, elle doit être supérieure à 30% par rapport à la matière sèche. Bien que la majeure partie de la matière organique des boues brutes se perde par minéralisation dans les ouvrages d'assainissement et pendant le traitement, les bio-solides en contiennent encore un minimum de 33,01%, un maximum de 55,03% avec une moyenne de 47,23% par rapport à la matière sèche. Ces bio-solides constituent donc un bon produit valorisable en agriculture.

IV.1.1.2 Eléments fertilisants des bio-solides

Le tableau 10 présente les teneurs minimales, maximales et moyennes des éléments fertilisants contenus dans les boues déshydratées.

Sur la base des teneurs moyennes, on a 0,29% d'azote, 1% de Phosphore et 0,13% de potassium. Ces éléments sont les fertilisants majeurs. La teneur en carbone varie de 19% à 29% avec une moyenne de 23,04%. Quant aux fertilisants mineurs, leurs teneurs moyennes sont respectivement 0,55% de MgO, 1,05% pour CaO, et 0,10% pour Na₂O.

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

Tableau 10. Statistique des teneurs des éléments fertilisants contenus dans les boues séchées avec leurs normes.

Paramètres	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Normes NFU44-095
NTK (%)	12	0,07	0,86	0,29	< 3%
N-NH ₄ ⁺ (%)	12	0,03	0,81	0,22	
N-org (%)	12	0,02	0,22	0,07	
COT (%)	12	19	29	23	
C/Norg	12	1,12	12,19	5,32	≤ 25
P ₂ O ₅ (%)	12	0,20	1,93	1,00	< 3%
K ₂ O (%)	12	0,0869	0,1449	0,13	< 3%
MgO (%)	12	0,05	1,14	0,55	
CaO (%)	12	0,19	2,83	1,05	
Na ₂ O (%)	12	0,02	0,27	0,10	
N+P+K (%)	12	0,37	2,15	1,42	< 7%

N= nombre d'échantillons Analysés

Ces résultats montrent que les bio-solides sont caractérisés par des niveaux de nutriments élevés et un ratio moyen C/N relativement faible. Ces teneurs obtenues à partir des boues traitées sur lits de séchages non plantés sont inférieures à celles obtenue au Cameroun par Kengne en 2006, avec des boues traitées sur lits de séchages plantés (inférieurs pour l'azote et le phosphore mais largement supérieurs pour les autres nutriments). Il avait trouvé respectivement 2% d'azote, 2% de Phosphore, 0,03% de K₂O, 1% de CaO, 0,1% de MgO, et 0,03% de Na₂O. Les différences des nutriments entre les deux systèmes de traitement peuvent s'expliquer par la variabilité des boues brutes produites entre les différents pays. La faible teneur de l'azote des bio-solides peut s'expliquer par le fait que dans les boues liquides, entre 80% à 90% de l'azote est sous forme ammoniacale. Cette fraction est majoritairement évacuer avec le percolât ou se perde par volatilisation.

Sur le plan références normatives, les teneurs des fertilisants majeurs des bio-solides sont conformes aux exigences de qualité de la norme NFU 44-095. En effet les teneurs moyennes en N, P, et K qui sont respectivement de 0,29%, 1% et 0,13% sont toutes inférieures à 3% et la somme N+P+K de 1,42% est inférieure à 7% exigés par la norme NFU 44-095. Ce qui fait de ces bio-solides un produit apte à être utilisé pour la fertilisation des sols.

Il faut remarquer que les ratios C/Norg des bio-solides, avec une moyenne de 5,32 et une valeur maximale de 12,19 semblent intéressants quant à une libération rapide de l'azote pour les plantes car il est reconnu que les engrais organiques ayant des rapports C/N inférieurs à 20 se minéralisent rapidement et peuvent libérer des quantités importantes d'azote aux cultures (Bipfubusa et *al.*, 2006).

IV.1.2 Distribution des éléments fertilisants majeurs autour de la moyenne.

Pour mieux comprendre l'évolution des teneurs en éléments fertilisants des boues issues des unités de traitements durant la période de notre étude, nous avons choisi d'utiliser une méthode de raisonnement permettant d'interpréter les résultats des analyses : la statistique descriptive. En effet la loi de distribution normale d'un ensemble d'éléments par rapport à leur moyenne permet d'apprécier la corrélation ou la disparité de ces éléments. Pour ce faire la moyenne μ , l'écart type σ , la limite supérieure de contrôle $\mu+2\sigma$ et la limite inférieure de contrôle $\mu-2\sigma$ ont été calculées et les courbes tracées avec Excel. Selon cette loi, tous les éléments situés dans l'intervalle $[\mu-2\sigma - \mu+2\sigma]$ sont dans la zone de confiance de forte corrélation et représente 95% de la population étudiée.

Les figures 26, 27, et 28 (confère annexe 3) présentent respectivement les distributions des teneurs d'azote, du phosphore et du potassium autour de leur teneur moyenne.

On constate que respectivement, toutes les teneurs l'azote NTK des bio-solides sont situées dans l'intervalle $[212,83 \text{ mg/Kg} - 5512,2 \text{ mg/Kg}]$ avec une teneur moyenne de $(2862,53 \text{ mg/Kg})$, les teneurs du phosphore totale évoluent dans l'intervalle $[1217,72 \text{ mg/Kg} - 18780,28 \text{ mg/Kg}]$ avec une teneur moyenne de $9999,0 \text{ mg/Kg}$ et les valeurs du potassium sont dans l'intervalle $[799,53 \text{ mg/Kg} - 1831,8 \text{ mg/Kg}]$ avec $1315,67 \text{ mg/Kg}$ comme teneur moyenne. Ces distributions montrent que pendant la période de notre étude, 95% des teneurs de chaque élément sont situées dans la zone de confiance et indique une forte corrélation entre les valeurs des différents échantillons de boues séchées.

IV.1.3 Le Sodium Adsorption Ratio (SAR) des bio-solides

Le tableau 11 donne les valeurs du SAR des boues séchées.

Les valeurs du SAR des bio-solides varient dans l'intervalle [0,06 – 0,22] avec une moyenne de 0,08.

Tableau 11 : Valeurs du SAR des boues séchées

Paramètres	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Normes (Burkina)
SAR	12	0,06	0,22	0,08	5

On constate que globalement, les valeurs du SAR des boues séchées sont très insignifiantes par rapport à la norme du Burkina sur la protection des sols qui est de cinq (5). Cela montre que les teneurs des ions sodium contenus dans les bio-solides sont faibles et de ce fait, une utilisation des boues séchées pour la fertilisation des cultures ne présente pas de risques de sodisation des sols.

IV.1.2 Teneur en Éléments Traces Métalliques des bio-solides.

Le tableau 12 présente les valeurs minimales, maximales et moyennes des métaux lourds contenus dans les boues séchées et leurs normes nationales.

L'évaluation des teneurs des métaux lourds contenus dans les bio-solides s'est portée sur les éléments suivant : le Zinc (Zn), le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd) et le Nickel (Ni). Les teneurs moyennes obtenus sont respectivement de 294,26 mg/Kg pour le Zinc, 8,49 mg/Kg de Plomb, 0,64 mg/Kg de Cadmium, et enfin 10,46 mg/Kg pour le Nickel.

Tableau 12 : Statistiques des teneurs des métaux lourds des bio-solides

Paramètres	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Normes (Burkina)
Zn (mg/Kg)	12	274	314,1	294,26	4000
Pb (mg/Kg)	12	4,092	15,55	8,49	1200
Cd (mg/Kg)	12	0,1604	0,8072	0,64	40
Ni (mg/Kg)	12	7,51	12,54	10,46	400

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

Les teneurs des métaux lourds analysés montrent des valeurs fluctuantes mais restent dans l'ensemble relativement faibles. On constate que ces résultats sont largement inférieurs à leurs normes nationales relatives à la protection des sols au Burkina Faso qui sont 4000 mg/Kg pour le Zinc, 1200 mg/Kg pour le Plomb, 40 mg/Kg pour le Cadmium, et enfin 400 mg/Kg pour le Nickel. Ce constat confirme ce qui est dit dans la littérature. En effet selon Jiménez et Wang, 2006 ; CNUEH, 2008 ; OMS, 2006, généralement dans les pays développés et les pays en développement, les teneurs en métaux lourds des eaux usées et des boues provenant de sources domestiques sont suffisamment faibles pour permettre leur utilisation pour la fertilisation des cultures.

En considérant l'ensemble des métaux analysés, le Zinc est celui qui a la teneur la plus élevée car elle représente une proportion de 93,76% par rapport aux autres. Cela peut s'expliquer par le fait que les piles et batteries de téléphones sont le plus souvent jetées dans les WC. Il est suivi respectivement du Nickel (3,33%), du Plomb (2,71%) et enfin le Cadmium qui existe en état de trace (0,20%). A la lumière de ces résultats, s'il y'a un métal dont la teneur dans les boues est à surveiller, c'est bien le zinc. La figure 10 illustre bien cet état de fait.

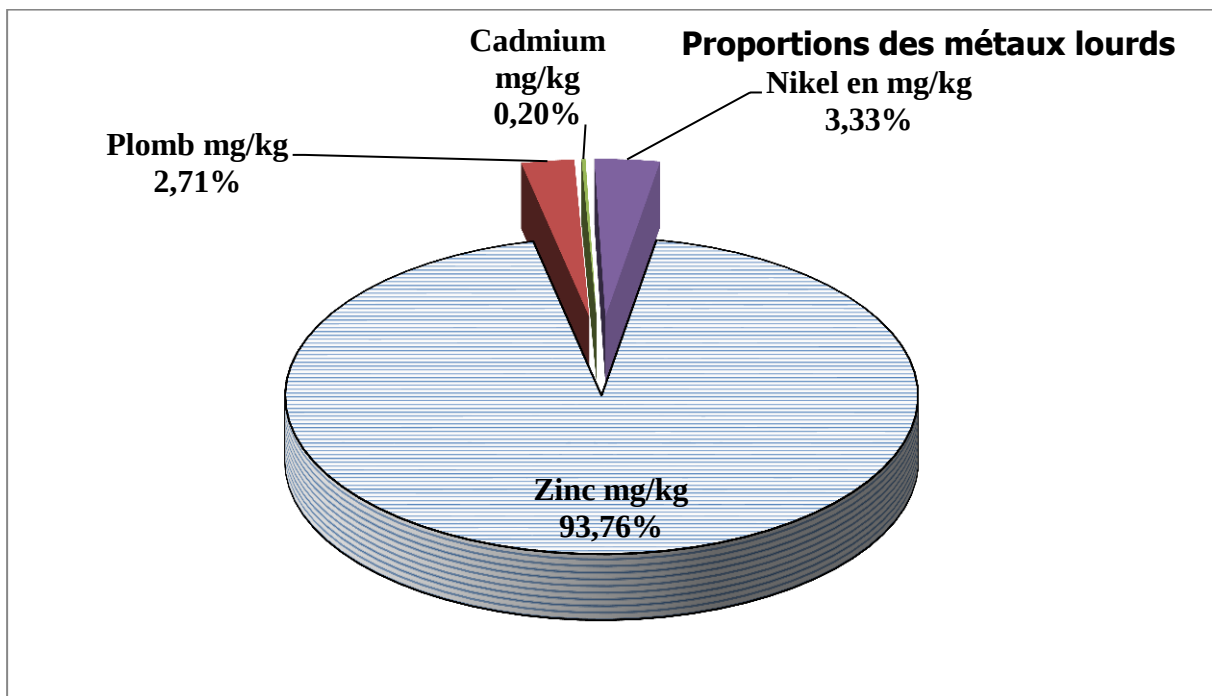


Figure 10 : Proportion de chaque métal lourd par rapport à l'ensemble des métaux analysés.

IV.1.5 Caractéristiques microbiologique des bio-solides

L'un des polluants qui fait des boues de vidange un déchet dangereux est sa concentration élevée en microorganismes pathogènes. Un grand nombre d'entre eux périssent dans les ouvrages d'aisances et de traitements mais les formes de résistances à la mort que développent certains d'entre eux leur permettent de survivre malgré des conditions difficiles du milieu.

IV.1.5.1 Caractéristiques bactériologique

Le tableau 13 présente les valeurs minimales, maximales et moyennes des bactéries dénombrées dans les boues séchées avec leurs normes.

On constate que par gramme de matière sèche, les bio-solides contiennent respectivement et en moyenne 373 *E. coli*, 46364 streptocoques fécaux et 3646 coliformes fécaux.

Tableau 13 : Nombres de bactéries vivantes présentes dans les bio-solides

Paramètres	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Normes NFU44-095
<i>E.coli</i> (UFC/gMS)	12	0	1 740	373	
<i>SF</i> (UFC/g MS)	12	23	274 000	46364	10 ⁵ /g MS
<i>CF</i> (UFC/gMS)	12	16	16 200	3646	10 ⁴ /g MS

N= nombre d'échantillons analysés

Ces résultats montrent bien que malgré la déshydratation des boues certaines bactéries survivent dans le milieu. Ce constat est en accord avec ceux de la littérature qui précise que les streptocoques ont une résistance à la dessiccation qui leur permettent de perdurer dans le milieu extérieur (OMS, 2000). Par ailleurs ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que l'âge des boues analysées varie de 21 jours à quatre mois de stockage alors que le temps de survie des coliformes fécaux à la température ambiante (20°C – 30°C) dans les régions tropicales peut atteindre 50 jours (Strauss et al. 2003).

L'analyse comparative de ces résultats avec les exigences de la norme NFU 44-095, révèle que le nombre de coliformes fécaux par gramme respecte la valeur normative (10⁴/g MS) et que celui des Streptocoques fécaux dépasse la norme (10⁵/g MS). Toutefois un temps supplémentaire de stockage à des températures élevées s'avère nécessaire pour atteindre un niveau de désinfection satisfaisante.

IV.1.5.2 Caractéristiques parasitologiques : œufs d'helminthes et kystes de protozoaires.

Les tableaux 14 et 15 présentent les nombres totaux d'œufs d'helminthes et de kystes de protozoaires par espèce identifiée et par gramme de boue séchée.

Sur un total de douze (12) échantillons analysés durant la période d'étude, neuf (09) espèces d'helminthes et trois (03) espèces de protozoaires ont été identifiées et respectivement leurs œufs et les kystes ont été dénombrés. Ainsi en ce qui concerne les œufs d'helminthes on a enregistré au total 2244 œufs d'*Ascaris lumbricoides* ce qui donne un nombre de 90 œufs/g de boue séchée, suivi de 2187 œufs de *Schistosoma hematobium* soit 87 œufs/g, 937 œufs d'Anguillules (*Strongyloides stercolaris*) avec un nombre de 37 œufs/g, 710 œufs d'*Oxyures* soit 28/g, 511 œufs d' *Ankylostoma duodenale* soit 20 œufs/g, 369 *Trichuris trichiura* soit 15/g, 284 *Schistosoma mansoni* soit 11 œufs/g, 142 Oocystes d'*Isospora belli* soit 6/g et enfin 13 œufs de *Fasciola hepatica* soit moins d'un œufs/g de boue déshydratée.

Pour les kystes de protozoaires, 6504 *Giardia intestinalis* ont été comptés soit 260 kystes/g de boue séchée suivi d'*Etmamoeba coli* avec un nombre total de 3550 soit 142 kystes/g et enfin 1818 *Etmamoeba histolytica* soit 73 kystes/g de boue déshydratée. Il faut noter qu'en plus de ces œufs et kystes, plusieurs larves d'Anguillules (*Stronggyloides stercolaris*), d'*Oxyures* et d'*Ankylostoma duodenale* ont été observées pendant les travaux. Ces larves (vivantes et mortes) sont certainement des œufs qui ont éclos lorsque les boues ont été réhydratées.

Tableau 64 : Nombre total d'œufs par espèce de parasite et par gramme de boue.

<i>Espèces</i>	N	Nombres total d'œufs par Espèces	Moyenne par Espèce	Nombres d'œufs/gramme
<i>Ankylostoma duodenale</i>	12	511	43	20
<i>Ascaris lumbricoides</i>	12	2244	187	90
<i>Fasciola hepatica</i>	12	13	1	< 1
<i>Oxyure</i>	12	710	59	28
Oocystes d' <i>Isospora belli</i>	12	142	12	6
<i>Schistosoma hematobium</i>	12	2187	182	87
<i>Schistosoma mansoni</i>	12	284	24	11
<i>Strongyloides stercolaris</i>	12	937	78	37
<i>Trichuris trichiura</i>	12	369	31	15
Total		7384		295
Moyenne		615		25

N= nombre d'échantillons analysés

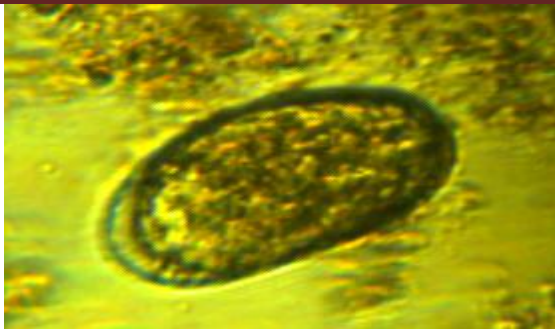
Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtouli en vue d'une valorisation agronomique

Tableau 15 : Nombre total de kystes par espèce de Protozoaires et par gramme de boue.

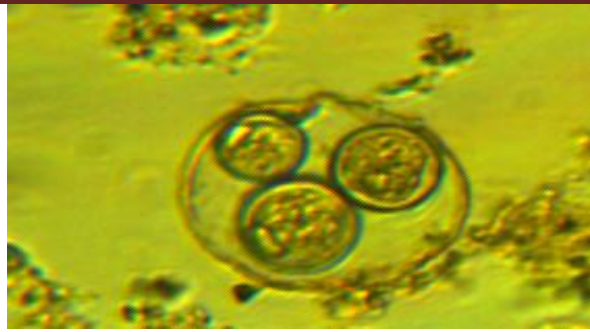
Espèces	N	Nombres total de Kystes par Espèce	Moyenne par Espèce	Nombres de Kystes/gramme
<i>Emtamoeba coli</i>	12	3550	296	142
<i>Emtamoeba histolytica</i>	12	1818	152	73
<i>Giardia intestinalis</i>	12	6504	542	260
Total		11190		448
Moyenne		932		37

N= nombre d'échantillons analysés.

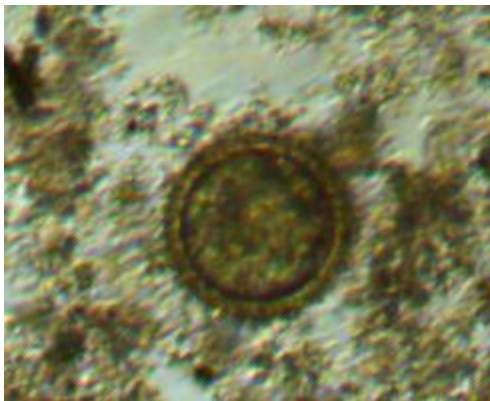
Ces résultats montrent que le traitement par déshydratation a certes réduit le nombre de parasites mais n'est pas efficace pour assainir totalement les boues. Cela peut s'expliquer par la persistance de ces microorganismes dans le milieu naturel malgré les difficiles conditions de vie. C'est le cas de *Ascaris lumbricoides* qui peut vivre dans le milieu naturel pendant 3 à 5 ans à des températures élevées et *Ankylostoma duodenale* quant à lui a une longévité de 4 à 5 ans. C'est d'ailleurs pour cela qu'elles sont les plus nombreuses parmi les espèces identifiées au cours de nos analyses. De façon globale on peut retenir que les boues de la STBV de Zagtouli, après séchage et stockage pendant des temps allant de 21 jours à 4 mois, contiennent encore en moyennes 615 œufs d'helminthes soit 25 œufs/g et 932 kystes de protozoaires soit 37 kystes/g de boues séchées. Ces résultats sont en accords avec ceux trouvés par certains auteurs qui affirment que le séchage seul ne permet pas d'éliminer tous les pathogènes. En effet au Cameroun, Kengne et *al.*, 2009 ont trouvé une concentration d'œufs d'helminthes de 79 œufs/g MS sur lits de séchages plantés après une période de charge de six mois. Cette concentration est réduite à 4 œufs/g MS, à la suite d'un repos de six mois supplémentaires. Mais les bio-solides n'étaient pas entièrement assainis après cette période de stockage eu égard à la conformité avec les normes de l'OMS de moins d'un œuf/g MS pour des pratiques agricoles sans risque (OMS 2006). Cela confirme la grande résistance des œufs de certaines espèces de parasite. Dans leurs travaux, Gaspard et Schwartzbrod, 2003 ; Koné et *al.*, 2007 ont montrés qu'une combinaison de lits de séchage et du co-compostage des boues subséquentement déshydratées peut produire des bio-solides hygiéniques sûrs pour leur réutilisation dans l'agriculture.



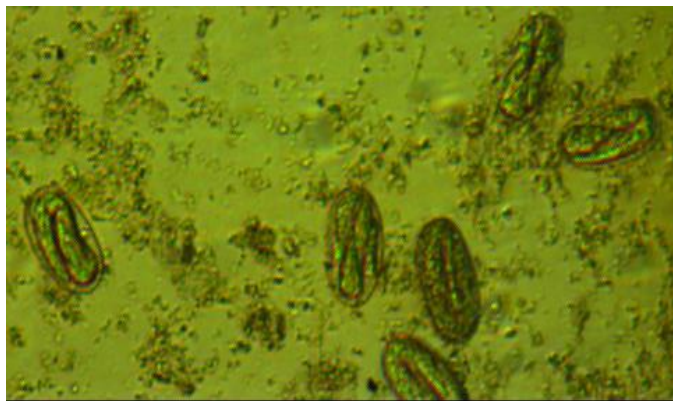
Œuf d'*Ankylostoma duodenale*



Oocyste d'*Isospora belli*



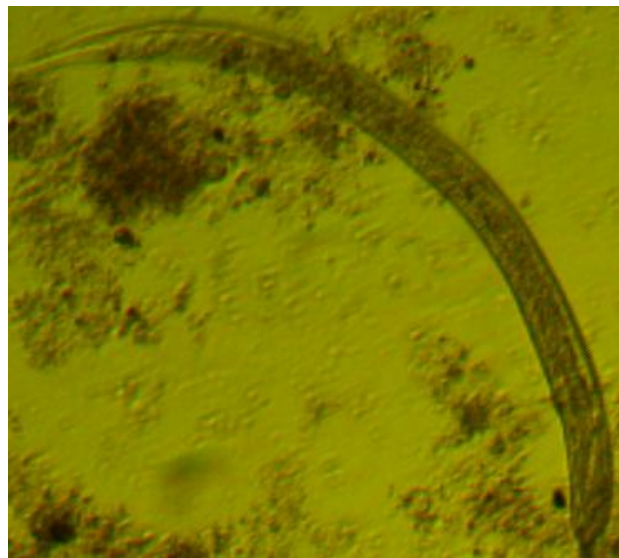
Œuf d'*Ascaris lumbricoides*



kystes de *Giardia intestinalis*



Larve d'oxyure



Larve de *Strongyloide stercolaris*

Figure 11 : photos de larves, d'œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires trouvés dans les boues séchées

IV.1.6 Performances des lits de séchages de la STBV

La concentration moyenne des œufs d'helminthes dans les boues fraîches admises sur les lits de séchages est de 9182 œufs/L (Pörry, 2010). A l'issu du traitement, on enregistre une concentration de 25 œufs/g et 37 kystes/g boues séchées. D'une part on constate qu'un grand nombre d'œufs a été détruit pendant le traitement mais les exigences de traitements ne sont pas atteintes. Ces exigences sont que la fraction solide des boues devra respecter les valeurs critiques de 3-8 œufs d'helminthes/gMS et 10 CF/gMS en trois mois de stockage. (Pörry, 2010).

D'autre part ces résultats sont meilleurs par rapport à ceux obtenus par Inganillella, et *al*, (2002) en Argentine. Avec une concentration de 600 – 6000 œufs d'helminthes/L de boues traitée sur lits de séchage planté, ils ont obtenus 170 œufs/g de séchée.

IV.2. LE PERCOLAT DES BOUES DE VIDANGE

Le percolât est la fraction liquide des boues de vidange obtenue après filtration. Il contient presque les mêmes pollutions que les boues brutes à l'exception de celles retenues sur le massif filtrant lors de la séparation solides-liquide des BV. La figure 11 présente une photo du bassin anaérobie contenant du percolât des boues de vidange.(STEP de Zagtoui)



Figure 11 : Photo du bassin anaérobie de la STEP de Zagtoui

IV.2.1 Caractéristiques du percolât brut et du percolât traité

Le tableau 16 présente les valeurs minimales, maximales, et moyennes des résultats d'analyses des différentes pollutions du percolât et leurs normes sur le plan nationale (Normes du Burkina Faso).

Tableau 16. Statistique des résultats d'analyses des différentes pollutions du percolât brut et du percolât traité.

Paramètres	N	Unités	Caractéristiques du Percolât brut (EZ)			Caractéristiques du percolât du (BA)			Caractéristique du percolât traité (BF)			Normes
			Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	
pH	12	*	7,25	7,86	7,56	7,42	7,84	7,67	7,92	8,25	8,11	6,4 - 10,5
Température	12	°C	31,9	38,4	33,98	28,2	37,4	33,38	28,6	38,2	33,44	18 - 40
Conductivité	12	µS/cm	3620	6750	5570	2920	5830	4420	2290	3380	2770	*
MES	12	mg/L	107	304	230,75	97	197	172,42	93	176	135,83	200 mg/L
DBO₅	12	mg/L	240	922	532,75	168	367	248	103	198,9	141,49	50 mg/L
DCO	12	mg/L	724	1759	1015,17	369	864	603,96	217	504	339,63	150 mg/L
DCO/DBO₅	12	*	1,21	3,66	1,92	*	*	*	*	*	*	*
NO₃⁻	12	mg/L	12,6	25	18,66	3,3	14,9	11,63	0,9	18,5	5,47	50 mg/L
SO₄²⁻	12	mg/L	7	72	31	2	58	33,58	17	54	43,75	600 mg/L
PO₄³⁻	12	mg/L	44	182	90,52	21	100	77,08	27	168	68,83	5 mg/L
E Coli	12	UFC/100mL	3,50E+04	9,70E+05	6,20E+05	0,00E+00	9,20E+05	1,63E+05	0,00E+00	2,90E+05	4,98E+04	
CF	12	UFC/100mL	4,75E+05	6,20E+06	2,78E+06	0,00E+00	3,70E+06	8,77E+05	0,00E+00	3,50E+05	1,05E+05	2.10 ³
SF	12	UFC/100mL	1,07E+05	2,02E+06	9,29E+05	0,00E+00	1,01E+06	5,50E+05	0,00E+00	3,60E+05	1,86E+05	10 ⁴

N = nombre d'échantillons analysé

IV.2.2 Caractéristiques du percolât brut

Les paramètres physico-chimiques du percolât brut montrent des valeurs très variables pour chaque paramètre. En effet le pH varie de 7,25 à 7,86 avec une valeur moyenne de 7,56; la conductivité varie de [3620 – 6750 $\mu\text{S/cm}$] avec une moyenne de 5570 $\mu\text{S/cm}$, la température [31,9°C - 38,4°C] avec une moyenne de 33,98°C.

Pour la pollution organique, les matières en suspensions varient de [107 – 304 mg/L] avec 230,75 mg/L comme valeur moyenne, la DBO₅ varie dans l'intervalle [240 - 922 mg/L] avec une moyenne de 532,75 mg/L, la DCO varie de [724 - 1759 mg/L] et 1015,17 mg/L est sa valeur moyenne. Pour les éléments minéraux analysés, le percolât brut contient des nitrates variant dans l'intervalle [12,6 - 25 mg/L] avec une moyenne de 18,66 mg/L, des sulfates qui varie de [7 à 12 mg/L] avec une moyenne de 31mg/L et des ortho-phosphates dont les teneurs varient dans l'intervalle [44 - 182 mg/L] avec 90,52 mg/L comme teneur moyenne.

Quant aux espèces bactériennes, le nombre de *E. coli*, évolue dans l'intervalle [3,5.10⁴ - 9,7.10⁵ UFC/100mL] et le nombre moyen est de 6,2.10⁵ UFC/100mL, les **coliformes fécaux** ont des nombres variant dans l'intervalle [4,75.10⁵ - 6,2.10⁶ UFC/100ml] avec 2,7.10⁶ UFC/100mL comme nombre moyen, et en fin les **Streptocoques fécaux** dont le nombre varie dans l'intervalle [1,07.10⁵ - 2,02.10⁶ UFC/100mL] avec un nombre moyen de 9,2.10⁵ UFC/100mL. Toutes ces caractéristiques montrent une grande variabilité des percolât. L'évaluation de la biodégradabilité du percolât par le ratio DCO/DBO₅ donne des valeurs allant de 1,21 à 3,66 avec une valeur moyenne 1,92. Ces résultats montrent que certains percolât sont difficilement biodégradable (ratio DCO/DBO₅ = 3,66 > 3) mais le traitement de ces percolât par lagunage naturel à microphyte est bien possible grâce au phénomène de mélange des différents influents. En témoigne le ratio moyen DCO/DBO₅ de 1,92 < 2 qui indique que le percolât est un influent facilement biodégradable selon l'évaluation de Metcalf et Eddy., 1991; et Peña., 2002 sur les eaux usées. Ils recommandent un ratio de 1,66 < DCO/DBO₅ > 3 pour que l'effluent soit facilement biodégradable.

Les facteurs physiques tels que le pH et la température influencent sur l'activité bactérienne lors du traitement dans les différents bassins. En effet les différents pH obtenus (variant de 7,25 à 7,86) du percolât prouvent qu'il constitue un milieu favorable au développement des bactéries car la plupart d'entre elles préfèrent des pH neutres ou légèrement alcalins compris entre 6,5 et 8,5 (Mara, 2004 cité par Maïga et al, 2014). La matière organique est dégradée en l'absence d'oxygène par une population des bactéries hydrolytiques, acétonémiques et des

bactéries méthanogènes. La bonne digestion anaérobie dans le bassin anaérobie du système exige une température supérieure à 15 °C et un pH aux alentours de 6 à 8 (Konaté et al, 2007 et Henze et al, 1996). Les valeurs des températures obtenues du percolât [31,9°C - 38,4°C] avec une température moyenne de 33,98°C) répondent à cette exigence.

La pollution organique du percolât brut exprimée en DBO₅ enregistre des teneurs variant de 240 mg/L à 922 mg/L avec une valeur moyenne de 532,75 mg/L est légèrement supérieure à la limite de charge organique qui est de 100 à 400 mg/L DBO₅ admissible dans les bassins anaérobies, recommandé par (Mara en 1976 et Arthur en 1983).

IV.2.3 Performances épuratoire de la STEP de Zagtoui

Le débit journalier du percolât admis dans le bassin anaérobie est en moyenne de 163 m³/j et la charge organique volumique moyenne est de 532,75 gDBO₅.m⁻³.j⁻¹.

IV.2.3.1 Évolution du pH et de la conductivité

La figure 12 illustre l'évolution du pH dans les bassins au cours du traitement.

Durant la période d'étude les valeurs du pH du percolât à l'entrée de la STEP varient de 7,25 à 7,86. Au cours du traitement on constate une augmentation progressive du pH d'un bassin à un autre. Dans l'effluent issu du bassin anaérobie, le pH fluctue de 7,42 à 7,84 et de 7,92 à 8,25 dans le bassin facultatif.

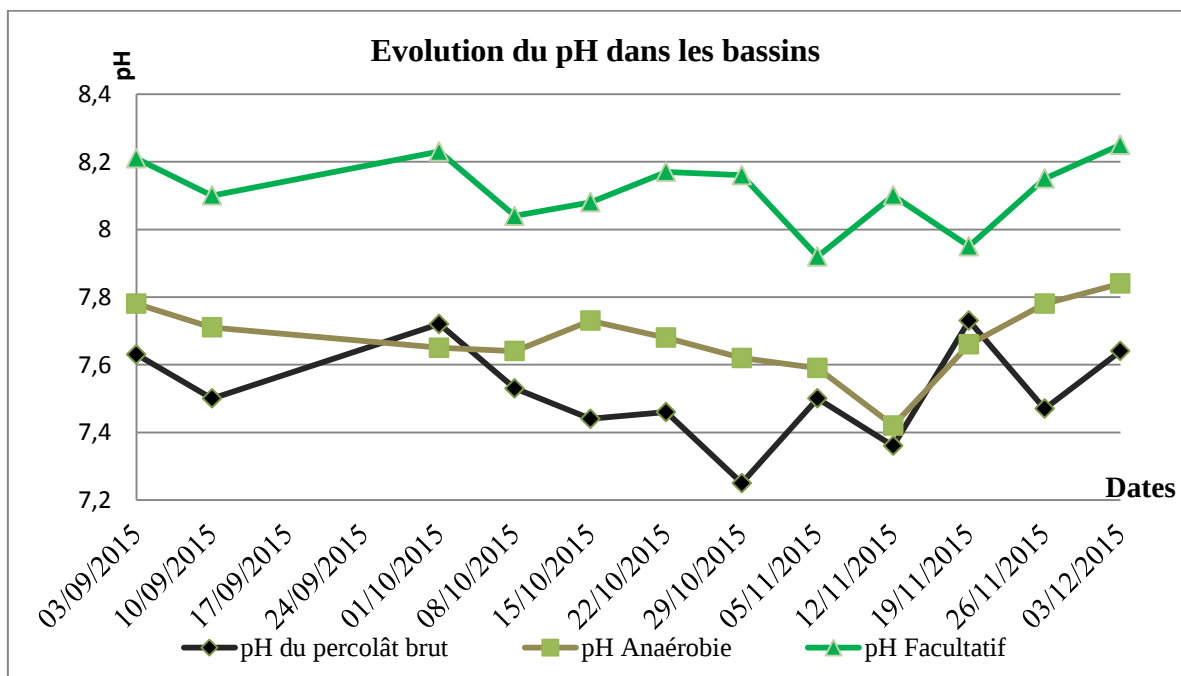


Figure 12 : Évolution du pH au cours du traitement

L'augmentation du pH peut se justifier par une consommation massive du CO_2 dissout par les bactéries photosynthétiques et les algues, modifiant ainsi l'équilibre calco-carbonique du milieu d'où l'élévation du pH constaté. Cette situation est d'ailleurs bénéfique car les pH élevés contribuent à l'élimination des bactéries fécales dans les bassins facultatifs et de maturations.

Quant à la conductivité électrique du percolât à l'entrée de la STEP, ses valeurs varient dans l'intervalle [3620 $\mu\text{S/cm}$ - 6750 $\mu\text{S/cm}$] avec une moyenne de 5570 $\mu\text{S/cm}$ comme indique le tableau 16 susmentionné. Ces fortes valeurs montrent que les percolât sont chargés en sels dissous. En effet les processus anaérobies dans les dispositifs d'assainissements, minéralisent efficacement la matière organique et génèrent beaucoup de sels dissous, des acides gras volatils et des ions hydrogénocarbonates. Ces ions enrichissent les matières de vidange en sels dissous qui traversent les lits de séchage et se retrouvent très majoritairement dans le percolât. Au cours du traitement, certains de ces ions sont éliminés progressivement dans les différents bassins soit par précipitation chimique puis décantation avec les matières en suspensions, soit incorporée par certains microorganismes lors de leurs activités de métabolismes. Ainsi on constate une diminution significative de la conductivité électrique dont les valeurs dans le bassin anaérobie fluctuent dans l'intervalle [2920 $\mu\text{S/cm}$ - 5830 $\mu\text{S/cm}$] avec une moyenne de 4420 $\mu\text{S/cm}$, et dans l'effluent du bassin facultatif, elles varient dans l'intervalle [2290 $\mu\text{S/cm}$ - 3380 $\mu\text{S/cm}$] avec 2770 $\mu\text{S/cm}$ comme valeur moyenne.

L'un des facteurs qui limite l'utilisation des percolât bruts dans l'irrigation des cultures étant sa teneur élevée en sels dissous (conductivité élevée), le traitement permet de la ramener à une valeur respectant la norme et donc de limiter les dommages éventuels sur les sols et les cultures lorsque le percolât est valorisé comme engrais.

IV.2.3.2 Élimination de la pollution organique : MES, DBO_5 , DCO

Le tableau 17 donne les rendements épuratoires des MES, DBO_5 , et DCO.

La charge organique moyenne du percolât admise dans le bassin anaérobie est de 532,75 mg/L de DBO_5 , 230,75 mg/L de MES et 1015,17 mg/l pour la DCO (tableau 16). Les taux d'abattements des différentes pollutions calculés révèlent que pour un temps de rétention hydraulique de trois jours, le bassin anaérobie permet une élimination respectivement des MES variant dans l'intervalle [3,7% - 40,8 %] avec une élimination moyenne de 25,28%, de la DBO_5 évoluant dans l'intervalle [5,83 - 75,38%] et 53,45% comme valeur moyenne, et de la DCO variant [20,5% - 56,54 %] avec une élimination moyenne de 40,51%.

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtouli en vue d'une valorisation agronomique

Tableau 17 : Rendement épuratoire de la pollution organique et des nutriments

Paramètres	Abattement en %						
	Bassin Anaérobie				STEP		
	N	Min	Max	Moy	Min	Max	Moy
MES	12	3,7	40,8	25,28	11,7	60,08	41,13
DBO ₅	12	5,83	75,38	53,45	35,42	82,41	73,44
DCO	12	20,5	56,54	40,51	48,2	76,63	66,54
NO ₃ ⁻	12	9,33	83,9	37,7	11,9	94,71	70,7
SO ₄ ²⁻	12	-76	84,62	-8,33	-88,46	30,56	-41,13
PO ₄ ³⁻	12	-83,49	81,08	14,84	-68,38	60,23	23,96

Les rendements d'élimination moyens qui sont respectivement de 25,28% pour les MES, 53,45% de DBO₅ et 40,51% de DCO sont largement inférieurs à ceux obtenu par Konaté *et al*, (2013) sur le bassin anaérobie de la filière de lagunage à microphyte de 2iE traitant des eaux usées domestiques après 6 ans de fonctionnement. Ils avaient obtenu les taux d'éliminations de 53,5% des MES, 57% de DOB₅, et 62,7% pour la DCO. Les faibles performances du bassin anaérobie de la STEP de Zagtouli peuvent s'expliquer par le fait que le percolât est moins chargé en matières organiques (une bonne partie étant restée dans les boues pendant la filtration) que les eaux usées domestiques, mais aussi cette STEP est en ces débuts de fonctionnement. Néanmoins il faut remarquer que l'élimination de la matière organique de l'ordre de 53,45% exprimée en DBO₅ est dans la gamme de 40 à 70% de matières organiques que les bassins anaérobies sont capables d'éliminer (Shilton et Walmsley, 2005).

En considérant l'élimination de ces mêmes pollution sur l'ensemble de la STEP, les rendements moyens obtenus sont respectivement de 41,13% des MES, 73,44% de la DBO₅ et 66,54% de la DCO. Ces valeurs indiquent que le pouvoir épurateur de la STEP à l'état actuel de son fonctionnement est satisfaisant.

IV.2.3.3 Élimination des nutriments : NO₃⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻

Les statistiques (minimums, maximums et moyennes) des éléments minéraux analysés sont résumées dans le tableau 17 susmentionné.

Les formes de nutriments analysées sont les nitrates, les ortho-phosphates et les sulfates surtout responsables des dégagements d'odeurs. Durant la période d'étude les rendements d'éliminations des nutriments du percolât varient de façon aléatoire. Pour le bassin anaérobie, ces rendements évoluent respectivement dans les intervalles suivants : [9,33% à 83,9%] avec

une valeur moyenne de 37,7% pour les nitrates, [-83,49% à 81,08%] avec la valeur moyenne de 14,84% pour les ortho-phosphates et [-76% à 84,62%] avec un rendement moyen de -8,33% pour les sulfates. Les faibles valeurs de ces rendements moyens attestent la faible élimination des nutriments dans les bassins anaérobies. Généralement, ces nutriments sont consommés par les micro-algues dans les bassins facultatifs et de maturation d'où leur prolifération remarquable dans ces derniers. C'est d'ailleurs ce qui explique, l'augmentation des rendements d'élimination dont les valeurs moyennes passent à 70,7% pour NO_3^- , 23,96% pour PO_4^{3-} et - 41,13% pour SO_4^{2-} . Toutefois il faut remarquer que la teneur en ortho-phosphates de l'effluent demeure élevée et pourrait occasionner des problèmes d'eutrophisations.

D'autre part les rendements négatifs constatés surtout des sulfates, traduisent le fait que la dégradation de la pollution organique par les bactéries entraîne un relargage d'éléments minéraux dans l'effluent dont la teneur est supérieure à celle de l'influent à l'entrée de la STEP. Toutefois cet effluent peut être bénéfique pour la croissance des plantes à cause de ces potentiels fertilisants (Sou, 2009)

IV.2.3.4 Élimination de la pollution microbienne : les bactéries

Le tableau 18 présente respectivement les valeurs minimales, maximales et moyennes des abattements en pourcentage et en unité logarithmique des bactéries dénombrées.

Les teneurs des bactéries du percolât brut varient respectivement de $3,5 \cdot 10^4$ à $9,7 \cdot 10^5/100\text{mL}$ pour *E. coli*, de $4,75 \cdot 10^5$ à $6,2 \cdot 10^6/100\text{mL}$ pour les coliformes fécaux et de $1,07 \cdot 10^5$ à $2,02 \cdot 10^6/100\text{mL}$ pour les Streptocoques fécaux (tableau 16). L'élimination de ces germes dans la STEP montre que les rendements épuratoires moyens du bassin anaérobie sont respectivement de 73,74% soit 0,58 ulog_{10} pour *E. coli*, 68,41% soit 0,5 ulog_{10} pour les coliformes fécaux et 40,79% soit 0,23 ulog pour les Streptocoques fécaux.

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

Tableau 18 : Statistique des taux d'élimination des bactéries en% et en Ulog

Paramètres	Abattement des bactéries en % et en Ulog ₁₀							
	Bassin Anaérobie					STEP		
	N	Unités	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne
<i>E. coli</i>	12	%	15,31	99,71	73,74	68,48	96	91,98
CF	12	%	7,69	93,06	68,41	64,65	99,48	96,23
SF	12	%	7,2	50	40,79	61,93	96,1	79,92
<i>E. coli</i>	12	Ulog ₁₀	0,072	2,5	0,58	0,5	1,4	1,10
CF	12	Ulog ₁₀	0,035	1,16	0,50	0,45	2,28	1,42
SF	12	Ulog ₁₀	0,032	0,3	0,23	0,42	1,41	0,70

N= nombre d'échantillons analysés

Les rendements d'élimination obtenus sont largement inférieurs à ceux obtenus dans les bassins anaérobies de la STEP de 2iE par Konaté en 2011, avec une élimination respective de 0,74 ulog pour *E. coli* et 0,73 ulog pour les coliformes fécaux. Cette faible efficacité d'élimination des bactéries dans les bassins anaérobies est due à certaines conditions comme leur profondeur élevée, la faible pénétration des rayons solaires et le pH variant autour de la neutralité.

De façon globale les résultats obtenus sur l'ensemble de la STEP montrent une légère augmentation des taux d'abattement moyens qui passe à 1,10 ulog pour *E. coli*, 1,42 ulog pour les coliformes fécaux et 0,70 ulog pour les Streptocoques fécaux. Toutefois ces rendements d'épuration demeurent faibles. Cela peut être lié au fait que généralement dans les lagunages à microphytes, l'élimination massive des bactéries a lieu dans les bassins facultatif et surtout de maturation grâce à la forte pénétration des rayons solaires, à l'augmentation du pH et aux toxines algales. La non-activité du bassin de maturation de la STEP de Zagtoui est donc en grande partie responsable de ses faibles performances en ce qui concerne l'élimination des bactéries.

IV.2.3.5 Valorisation du percolât traité comme engrais

Les caractéristiques du percolât épuré et les normes sont mentionnées dans le tableau 16 susmentionné.

Le percolât épuré contient un grand nombre de nutriments pouvant servir à la croissance des plantes. En effet les teneurs moyennes de 5,47mg/L de Nitrate, 68,83mg/L d'orthophosphates et 43,75mg/L de sulfates témoignent de la disponibilité des nutriments dans les percolât. Mais une analyse comparative de ces résultats avec les normes de rejets des eaux

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoulé en vue d'une valorisation agronomique

usées dans les eaux de surfaces au Burkina Faso montre qu'à l'état actuel du fonctionnement de la STEP, la qualité du percolât est mitigée.

Du point de vue environnemental, les paramètres physico-chimiques et les éléments minéraux donnent des résultats inférieurs à leurs normes sauf les ortho-phosphates qui avec une teneur moyenne de 68,83 mg/L est dix fois plus élevée que sa norme et peut donc poser un problème d'eutrophisation du milieu récepteur.

Quant à la pollution bactériologique, le percolât traité enregistre encore des teneurs résiduelles moyennes de $4,975.10^4$ *E. coli* /100mL, $1,046.10^5$ coliformes fécaux/100mL et $1,86.10^5$ Streptocoques fécaux/100mL. Ces valeurs sont largement supérieures aux normes de rejet des eaux usées traitées dans la nature et aux normes OMS quant à une réutilisation en agriculture qui sont respectivement de 2.10^3 /100ml pour les coliformes fécaux et 10^4 /100ml pour les streptocoques fécaux. Malgré sa richesse en éléments nutritifs, les insuffisances de traitements limitent les possibilités de valorisations du percolât en agriculture.

V. CONCLUSION

Les excréta humains provenant des systèmes d'assainissement autonome peuvent être convertis en bio-solides sûrs et en liquide sans pathogènes pour leur réutilisation dans l'agriculture si le traitement est efficace. Bien que les concentrations de pathogènes, particulièrement les œufs d'helminthes, soient élevées dans les boues brutes, les systèmes de filtration comme les lits de séchage (plantés et non plantés) les concentrent dans la fraction solide, livrant ainsi une phase liquide sans helminthes. Le séchage pour la fraction solide et le traitement par lagunage pour la fraction liquide devraient permettre d'obtenir des sous-produits assainis.

L'objectif de cette étude consistait à déterminer le potentiel fertilisant et amendant des boues séchées et du percolât mais surtout d'évaluer leurs qualités hygiéniques. Au terme de l'étude, la composition et les teneurs des fertilisants obtenus confirment la richesse des boues en éléments nutritifs au regard des résultats moyens qui sont respectivement 47,3% de matière organique (MO), 0,29% d'azote total (N), 1% de Phosphore total (P_2O_5), 0,13% de potassium (K_2O), 0,55% de magnésium (MgO), 1,05% de calcium (CaO), et 0,10% de sodium (Na_2O). Dans le percolât les teneurs moyennes de nutriments sont : 5,47mg/L de nitrate (NO_3^-), 68,83mg/L d'ortho-phosphate (PO_4^{3-}) et 43,75mg/L de sulfate (SO_4^{2-}). La récupération de ces nutriments en faveur de la productivité agricole s'avère donc nécessaire. Mais la qualité microbiologique des bio-solides et du percolât montre qu'ils contiennent encore en moyennes 25 œufs d'helminthes/g de boue séchée et 37 kystes de protozoaires/g de boues séchées. La qualité hygiénique de ces fertilisants restes donc un défi à relever.

VI. RECOMMANDATIONS

Vu que les teneurs des nutriments qu'on peut récupérer dans les boues et percolât sont élevées et que leur taux d'assainissement n'est pas satisfaisant, nous lançons les recommandations suivantes :

- Envisagé un co-compostage des boues séchées avec des déchets verts comme la jacinthe d'eau qui envahit nos barrages. En raison de leur teneur élevée en azote, les boues de vidange déshydratées constituent un bon substrat complémentaire aux déchets solides organiques qui eux, sont riches en carbone. En effet le co-compostage a subi des essais réussis comme moyen d'assainir les boues de vidange en raison des températures élevées produites pendant le compostage anaérobie. Les travaux menés par Koné *et al*, (2007) ont montré qu'au cours du premier mois, la température au centre de la pile de compost était supérieure à 60 °C, et près du bord, elle s'élevait initialement à plus de 45 °C. Ces températures peuvent accroître la destruction des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires. Les recherches menées par Cofie *et al* (2006) au Ghana montrent qu'il est possible de produire du compost sain et de bonne qualité à base de boues séchées mélangées et de déchets organiques dans les proportions 1:2 à 1:4.

- Envisager une digestion anaérobie des boues dans des bio-digesteurs afin de récupérer le biogaz avant de les envoyées sur les lits de séchages. Cela contribuera à l'élimination de certains microorganismes et permettra ainsi d'optimiser l'assainissement des sous-produits du traitement.

- La présence des œufs d'helminthes dans les boues séchées est déjà prouvée par notre étude, nous recommandons que les prochaines études prennent en compte la recherche des **salmonelles, des Clostridium et Listeria** vu que la fièvre typhoïde, et certaines maladies diarrhéiques sont régulièrement rencontrées dans les structures sanitaires au Burkina Faso.

- Mener des études sur des parcelles agricoles afin de comprendre les doses de boues nécessaires applicables à chaque type de culture.

- Construire l'hangar prévu pour protéger les bio-solides contre les eaux de pluies pendant la saison pluvieuse car les réhydrations des boues créent des conditions favorables au à la survie des pathogènes.

- Résoudre le problème technique au niveau de la STEP pour permettre le passage du percolât du bassin facultatif vers le bassin de maturation. Le traitement complémentaire dans ce

dernier bassin va optimiser l'élimination des pathogènes et livrer un percolât répondant aux normes des eaux d'irrigation.

Insuffisances de notre étude

Afin de comprendre et d'évaluer les performances de traitements des lits de séchage, il était prévu dans notre étude, la caractérisation des boues brutes déposées sur les lits. Après l'analyse de trois échantillons, le manque de certains réactifs pendant la période de notre étude n'a pas permis de poursuivre et d'avoir des résultats d'un grand nombre d'échantillons représentatifs pour une étude.

VII. BIBLIOGRAPHIE

- Barrett, J. 1976.** « Studies on induction of permeability in *Ascaris lumbricoides* eggs », Parasitology, vol. 73, p. 109-121.
- Bassan M., Mbéguéré M., Koanda H., 2010.** Rapport d'analyse institutionnelle de la gestion des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou, ONEA / Eawag-Sandec, Ouagadougou.
- Bipfubusa M., N'Dayegamiye A. et Antoun H. 2006.** « Évaluation des effets de boues mixtes fraîches et de leurs composts sur les rendements des cultures et leur nutrition minérale ». *Agrosolutions*, 17 (1), p. 65-72.
- Blunier P., Koanda H., Strauss M., Klutse M et Tarradellas J., 2004,** Quantification des boues de vidange, Exemple de la ville d'Ouahigouya, Burkina Faso, EAWAG/SANDEC, Lausanne, 8 p.
- Bolomey S., 2003,** Amélioration de la gestion des boues de vidange par le renforcement du secteur privé local, CREPA, Mali, 38 p.
- Capizzi-Banas., 2004.** « Liming as an advanced treatment for sludge sanitization: Helminth eggs elimination – *Ascaris* eggs as model », Water Research, no 38, p. 3251-3258.
- Centre des Nations Unies pour les établissements humains – CNUEH 2008.** Dans R. Leblanc, (dir.), Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: Moving Forward the Sustainable and Welcome Uses of a Global Resource, Nairobi, ONU Habitat, 632 p.
- Cofie O. O., Agbottah S., Strauss M., Esseku H., Montangero A., Awuah, CREPA 2006 :** « Technologies d'eau potable et d'assainissement développées ou expérimentées dans le réseau CREPA » ; fiches techniques
- CREPA, 2004.** Etude comparative des modes de gestion des boues de vidange en Afrique de l'Ouest : Analyse des problèmes et recommandations. Etudes et Travaux. Première Edition, 2004. 46p.
- CREPA, 2007.** Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées, protocole de détermination des spécialistes sur les étangs de stabilisation, Avignon, 27 septembre au 1er octobre 2004, documentation à l'appui. Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, 1050 p.
- Estevez, B., Coderre D., et Pagé F. 1992.** « Effet de la fertilisation sur les vers de terre et leur impact sur la porosité et la stabilité structurale du sol ». *Agrosolutions*, 5 (2), p. 26-31.

Feachem, R. G. 1983. Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management, Chichester, John Wiley and Sons.

Gaspard, P. G. et Schwartzbrod.J 2003. « Parasite contamination (helminth eggs) in sludge treatment plants: Definition of a sampling strategy », *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 206, no 2, p. 117-122.

Hébert, M., Rioux .V, et Gagnon. É 2003. « Contrôle de qualité indépendant des MRF par le MENV – partie 2 : Pathogènes et paramètres agronomiques ». VECTEUR environnement, 36 (1), p. 34-40.

Heinss, U., Larmie S. A. et Strauss M., 1998. Solid Separation and Pond Systems for the Treatment of Faecal Sludges in the Tropics: Lessons Learnt and Recommendations for Preliminary Design, SANDEC Report no 05/98, Dübendorf, EAWAG/SANDEC. Helminth eggs elimination – *Ascaris* eggs as model », *Water Research*, no 38, p. 3251-3258.

Jiménez, B. et Wang. L 2006. « Sludge treatment and management », dans Z. Ujang et *al.*, (dir.), *Municipal Wastewater Management in Developing Countries: Principles and Engineering*, Londres, IWA Publishing, p. 237-292.

KENGNE 2006 Potentials of sludge drying beds vegetated with *Cyperus papyrus* L. and *Echinochloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase for faecal sludge treatment in tropical regions. Doctorat d'Etat thesis

Kengne, I. M., Akoa.A et Koné D., 2009. «Recovery of bio-solids from constructed wetlands used for faecal sludge dewatering in tropical regions», *Environmental Science and Technology*, vol. 43, p. 6816-6821.

Koanda, H., 2006, Vers un assainissement urbain durable en Afrique Subsaharienne : Approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange, Thèse de Docteur, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 262 p.

Konaté Y., 2011. Lagunage anaérobie en climat soudano-sahélien : performances épuratoires, accumulation des boues, devenir des parasites, production de biogaz (Ouagadougou-Burkina Faso) [Rapport] / 2iE. - 2011.

Konaté Y. Maiga A.H. Wethe J. Debyigba K et Zougrana D. 2007. Performance épuratoire d'un bassin anaérobie en climat sahélien: cas de la station d'épuration du 2iE.

/Proceedings 4ème Journée Scientifique 2iE et 2ème Forum de Recherche du CREPA. - Ouagadougou . pp. 5-6

Koné, D. et Strauss M., 2004. « Low-cost options for treating faecal sludge (FS) in developing countries – Challenges and performance », document présenté lors de la 9e Conférence internationale IWA du groupe de spécialistes sur les réseaux de terres humides pour contrôler la pollution de l'eau et lors de la 6e Conférence internationale IWA du groupe

Koné, D. et Strauss M., 2007. «Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and cocomposting in tropical climates», *Water Research*, vol. 41, no 19, p. 4397-4402.

Koné D., Saywell D. et Strauss M., 2007, Rapport du 1^{er} Symposium/Atelier international sur la Politique de gestion des boues de vidange, Dakar, Sénégal, 9 – 12 mai 2006, SANDEC/EAWAG, Dubendorf : Suisse, 32 p.

Koné.D., 2006. Solid-liquid separation of faecal sludge using drying beds in Ghana: Implications for nutrient recycling in urban agriculture. *Water Research* **40** (2006):

Koottatep, T., Surinkul, N., Polprasert, C., Kamal, A.S.M., Koné, D., Montangero, A., Heinss, U., and Strauss, M. 2005. «Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate: Lessons learnt from seven years of operation», *Water Science and Technology*, vol. 51, no 9, p. 119-126.

Mara, D.D. 2003: Wastewater treatment in developing countries. *Earthscan UK*, 293 p.

Montangero A., Strauss M., Dembele A. 2000 : « Gestion des boues de vidange: parent pauvre de l'assainissement et défi à relever » ; département SANDEC/EAWAG/EIER,

Montangero, Kone D., Strauss M., et Klingel, 2002, Gestion des boues de vidange dans les pays en développement, SANDEC/EAWAG Dübendorf : Suisse, 63 p

Nelson, K. L. 2004. « Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in four primary waste stabilization ponds in central Mexico », *Water Research*, vol. 38, no 1, p. 111-127.

OMS., 2000. Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2 – critères d'hygiène et documentation à l'appui. Organisation mondiale de la Santé, 2e édition, 1050 p.

OMS., 2006. Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, vol.4, Genève, Organisation mondiale de la santé, 182 p.

ONEA., 1993. Plan stratégique d'assainissement des eaux usées de la ville de Ouagadougou au Burkina Faso. Office national de l'Eau et de l'assainissement / Ministère de l'Environnement et de l'eau, Ouagadougou, Burkina Faso.

ONEA., 2012. Rapport d'actualisation du Plan Stratégique d'Assainissement des eaux usées et des excréta de Ouagadougou à l'horizon 2012-2020.

Peña Varón, M. R. 2002. « Advanced primary treatment of domestic wastewater in tropical countries: Development of high-rate anaerobic ponds », thèse de doctorat, Leeds, Université de Leeds.

Pöyry, 2010. Rapport- Avant-Projet Détaillé (APD) - Volet 2, ONEA, Ouagadougou– Construction des deux stations de traitement des boues de vidange de la ville de Ouagadougou (version définitive).

PS eau., 2003 : « Co-composting of faecal sludge and solid waste for urban and peri-urban agriculture in Kumasi » ; Programme gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain, Ghana, février 2003

Raschid-Sally, L. et Jayakody P., 2008. « Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: Results from a global assessment, Colombo, Sri Lanka », *IWMI Research Report 127*, Colombo, Institut international de gestion de l'eau, p. 35

Sanguinetti, G. S. 2005. «Investigating helminth eggs and *Salmonella* sp. In stabilization ponds treating septage», *Water Science and Technology*, vol. 51, no 12, p. 239-247.

Shilton A and Walmsley N. 2005: Introduction to pond treatment technology. In Pond Treatment Technology, Shilton A. (Ed.): pp. 1-13. IWA Publishing, London, UK.

SOU., 2009 : Recyclage des eaux usées en irrigation : potentiel fertilisant, risques sanitaires et impacts sur la qualité des sols. /École Polytechnique Fédérale De Lausanne. Thèse de Doctorat.

Strauss, M., Kone D., et Montangero A., 2003, Recherche appliquée dans le domaine de la gestion des boues de vidange dans les pays en voie de développement, EAWAG/SANDEC, Dübendorf : Suisse, 35 p.

TEARFUND., 2007. Assainissement et hygiène dans les pays en voie de développement : identifier les obstacles et y apporter des réponses. Étude de cas au Burkina Faso. TEARFUND-ACCEDDES-ODI. 48p.

VIII. ANNEXES

ANNEXE 1 : PROTOCOLES D'ANALYSES DU PERCOLAT

Les protocoles d'analyse de l'ONEA ont été utilisés pour analyser le pH, la température, la conductivité, les MES, la DCO, la DBO₅, les NO₃⁻, PO₄³⁻, SO₄²⁻

1. Détermination du pH, conductivité, température

Le pH est mesuré à l'aide d'un pH-mètre WTW INOLAB- pH 7310 à électrode de verre plongé dans un certain volume de percolât. Le principe de mesure est électrochimique.

La conductivité et la température sont mesurées à l'aide d'un Conductimètre WTW INOLAB- Cond 7310 à électrode de verre plongé dans un volume donné de percolât. Le principe de mesure est électrochimique.

2. Protocole d'analyse des MES

Mode opératoire

1. Sécher puis peser les disques filtrant secs à 0,1 mg près.
2. Placer un filtre sec dans l'équipement de filtration et mettre en marche le dispositif aspirateur.
3. Verser progressivement l'échantillon de percolât sur le filtre jusqu'à ce que l'éprouvette soit vide.
4. Rincer l'éprouvette ayant contenu l'échantillon avec de l'eau distillée et faire passer les eaux de lavage sur le filtre.
5. Laisser essorer et placer le disque filtrant dans un creuset en aluminium ou en porcelaine.
6. Sécher le filtre dans l'étuve à 105°C ± 2°C.
7. Laisser refroidir en dessiccateur et peser à 0,1 mg près.
8. Procéder de la même manière pour faire le blanc avec l'eau distillée.

1. Calcul des résultats

Matières en suspension, exprimé en mg/l est donné par l'expression:

$$\frac{(M_1 \text{ échantillon} - M_0 \text{ échantillon}) - (M_1 \text{ essai blanc} - M_0 \text{ essai blanc}) * 1000}{Ml \text{ échantillon}}$$

Ml échantillon

Soient:

M_1 échantillon = la masse, en mg, du disque filtrant après utilisation et séchage à 105°C

M_0 échantillon = la masse, en mg, du disque filtrant sec avant utilisation

M_1 essai blanc = la masse, en mg, du disque filtrant après utilisation et séchage à 105°C

M_0 essai blanc = la masse, en mg, du disque filtrant sec avant utilisation

M_l échantillon = le volume, en ml, d'échantillon mis en jeu.

3. Protocole d'analyse de la DBO₅

la DBO₅ (Demande biologique en oxygène sur 5 jours) est la quantité d'oxygène, exprimée en mg/l, qui est consommée pendant l'incubation durant cinq jours à 20°C, par certaines matières présentes dans l'eau, notamment pour assurer leur dégradation par voie biologique, et à l'obscurité pour prévenir toute production d'oxygène à travers la photosynthèse en cas de présence d'algues ou de bactéries photosynthétiques dans l'échantillon.

La mesure de la DBO₅ avec système Oxytop est basée sur le principe de la différence de pression. La mesure est faite à l'aide d'une sonde de pression électronique piézo-résistante.

L'adjonction de 1 allyle 2 thio-urée (C₄H₈N₂S) permet d'inhiber la nitrification qui absorbe de l'oxygène. L'oxydation des matières organiques provoque la formation de CO₂ qui est piégé par le NaOH placé dans le godet sous l'Oxytop. La consommation d'oxygène permet l'oxydation des matières organiques par les microorganismes. La lecture se fait directement sur les appareils.

Mode Opératoire

On prélève un volume de 43,5 ml qu'on introduit avec précaution dans un flacon ambbré .

- Mettre un barreau magnétique dans le flacon.
- Ajouter 3 gouttes de la solution ATU (N-Allyl Thiourée)
- Mettre 2 pastilles de soude dans un godet en caoutchouc et le placer dans le goulot du flacon.
- Visser l'Oxitop numérique directement sur le flacon de manière étanche.
- Lancer la mesure grâce à une commande.
- Placer le flacon sur l'agitateur dans l'armoire thermostatique à 20°C pendant 5 jours.

Dès que la température de mesure est atteinte (20°C) au minimum après 1 h ou au maximum après 3 h, l'Oxitop lance automatiquement la mesure de la consommation en oxygène.

L'Oxitop mémorise les valeurs toutes les 24 h pendant 5 jours.

A l'issu des 5 jours, faire la lecture des résultats en utilisant toujours la commande.

Les résultats s'expriment en mgO_2/l .

4. Protocole d'analyse de la DCO

La DCO (Demande Chimique en Oxygène) est la concentration, exprimée en mg/l , d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate (Cr_2O_7^-) consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans ces conditions définies.

Mode opératoire

1. Placer le minéralisateur sous l'hôte d'aspiration et le mettre en marche à 150°C , au moins une heure avant la minéralisation.
2. Introduire dans les tubes de minéralisation à l'aide d'une pipette et en respectant l'ordre suivant :
2,50 ml de la prise d'essai (étalon, blanc, contrôle, échantillon)
1,50 ml solution A (solution de minéralisation grande gamme)
3,50 ml solution C (solution acide sulfurique, laissé couler lentement sur la paroi du tube)
3. Homogénéiser soigneusement l'échantillon, puis prélever 2,5 ml qu'on complète dans le tube de minéralisation contenant les réactifs.
4. Les tubes de minéralisation doivent être bien fermés et agiter pour bien mélanger.
5. Faire un blanc parallèlement à la détermination, en suivant le même mode opératoire que pour les échantillons, mais en remplaçant la prise d'essai par 2,50 ml d'eau distillée.
6. Placer les tubes dans le minéralisateur pendant deux (2) heures de minéralisation.
7. Laisser refroidir à la température ambiante après les deux heures de minéralisation.
8. La paroi du tube est bien nettoyée, les tubes agités à plusieurs reprises pour bien mélanger et laisser les particules se décantées avant d'analyser.
9. Régler le spectrophotomètre sur signal unique (choisir l'absorbance 600nm).
10. Faire le zéro avec le blanc minéralisé.
11. Analyser le blanc, les étalons, le contrôle et les échantillons.
12. Vérifier le zéro avec le blanc minéralisé.
13. L'échantillon est mesuré avec le signal unique (absorbance) du spectrophotomètre.
14. Les valeurs des absorbances obtenues sont introduites dans la courbe d'étalonnage

pour obtenir celles de la DCO en mg/L.

5. Dosages des éléments minéraux par la méthode Spectrophotométrique

Les mesures ont été effectuées avec la DR3800, chaque ions analysés son réactif spécifique contenu dans une pochette et avec lequel il réagit en donnant une coloration caractéristique en fonction de la teneur des ions présents dans le milieu. Les ions analysés et leurs réactifs ont été dans le tableau 8.

La teneur en Nitrates (NO_3^-) est déterminée grâce au cadmium qui réduit le nitrate dans l'échantillon en nitrite. L'ion nitrite réagit avec l'acide sulfanilique pour former un sel de diazonium intermédiaire. Ce sel réagit avec l'acide gentisique pour former un complexe coloré ambre. Cette coloration est proportionnelle à la quantité d'ions nitrates et la est obtenue par lecture à 500 nm.

Les ions Sulfate (SO_4^-) réagissent avec le Baryum pour former un précipité de sulfate de baryum. La turbidité est proportionnelle à la concentration en sulfates, la teneur est obtenue par lecture à 450 nm.

Les Ortho-phosphate (PO_4^{3-}) réagissent avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe mixte phosphate/molybdate. Ensuite, l'acide ascorbique réduit le complexe, provoquant une forte coloration bleue due au molybdène. Sa teneur s'obtient par lecture à 880 nm.

**ANNEXE 2 : DISTRIBUTION DES ELEMENTS FERTILISANTS MAJEURS AUTOUR DE LA
TENEUR MOYENNE**

La figure 26 présente la distribution des teneurs du NTK en mg/Kg de boue séchée autour de la teneur moyenne.

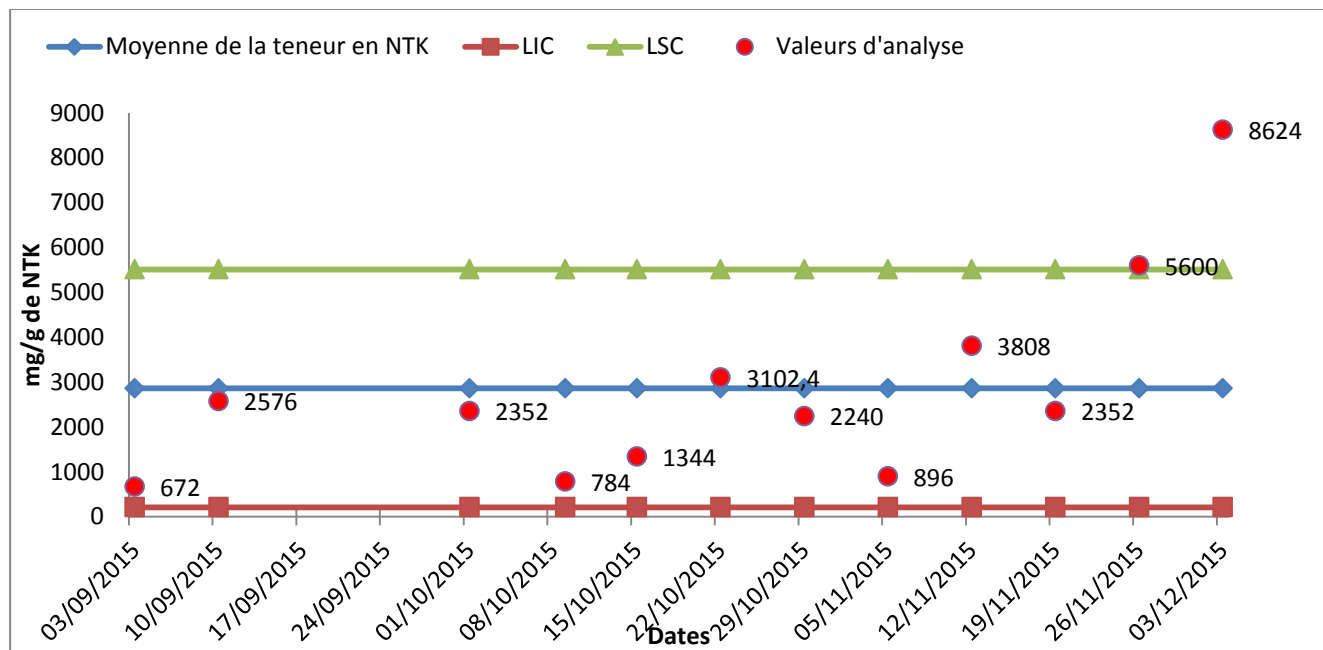


Figure 26 : distribution des teneurs du NTK en mg/kg de boue séchée.

La figure 27 présente la distribution des teneurs du phosphore en mg/Kg de boue séchée autour de la teneur moyenne.

Caractérisation des boues de vidange séchées et du percolât traité de la station de traitement de Zagtoui en vue d'une valorisation agronomique

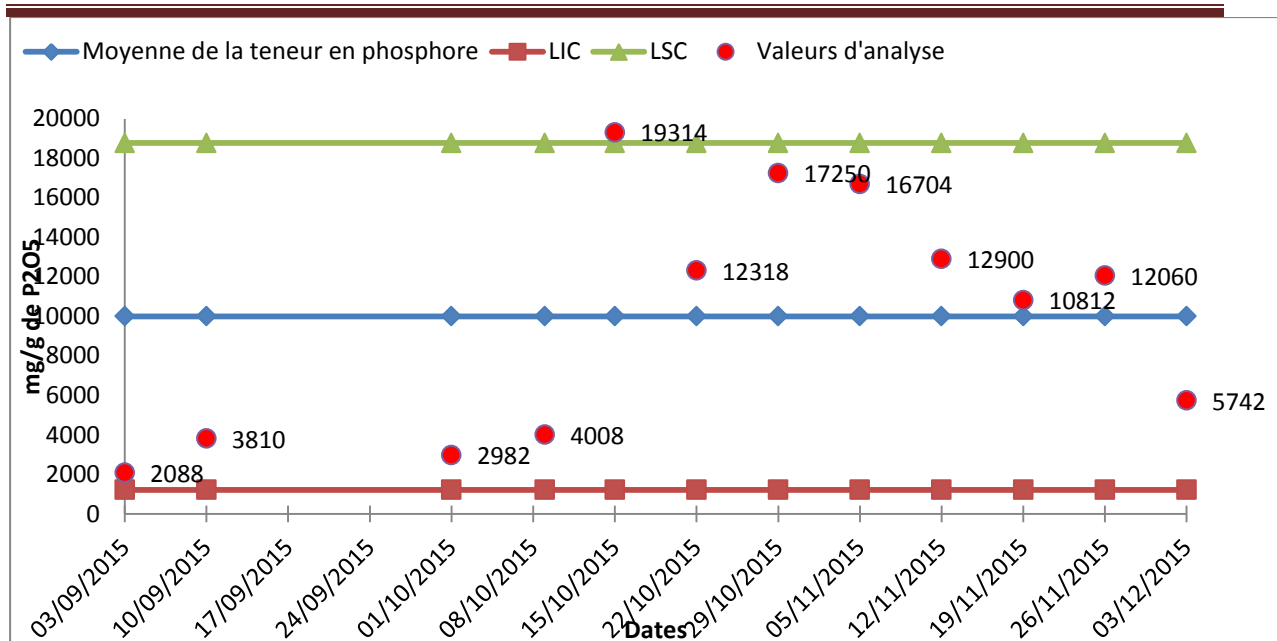


Figure 27 : distribution des teneurs du Phosphore en mg/kg de boue

La figure 28 présente la distribution des teneurs du potassium en mg/Kg de boue séchée autour de la teneur moyenne

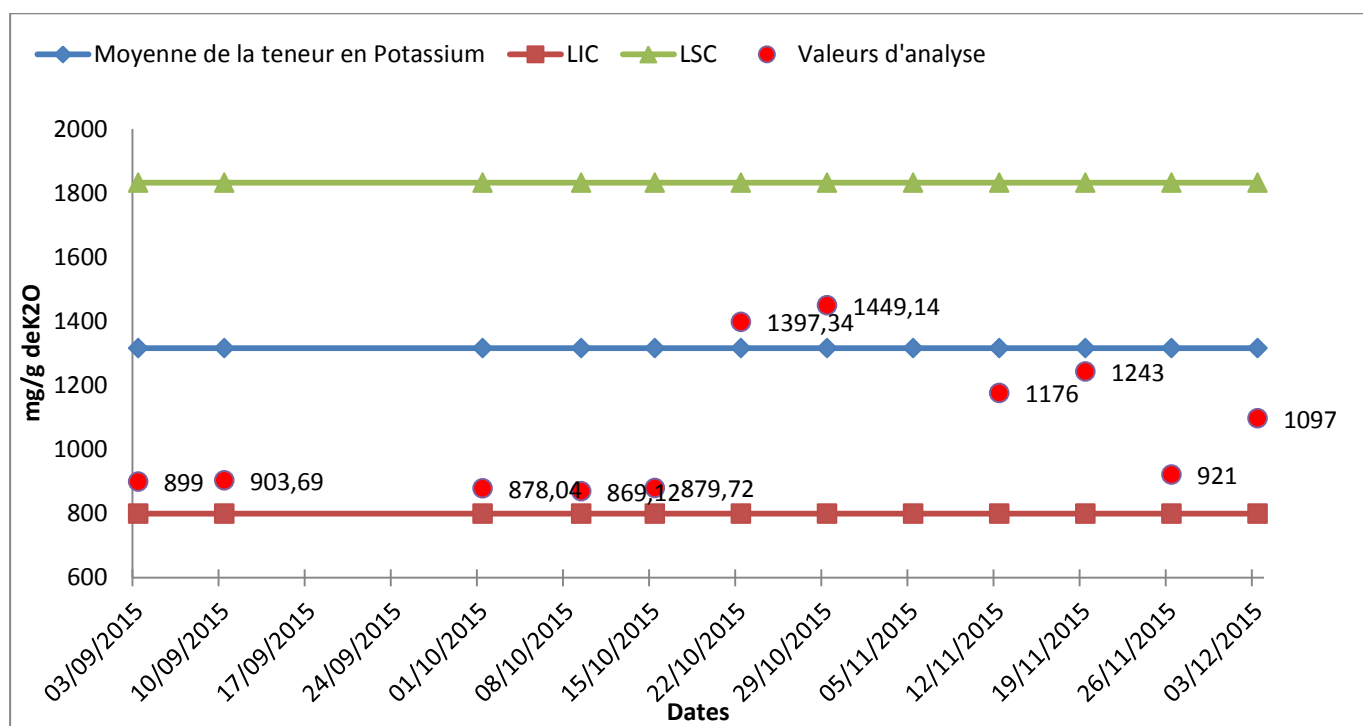


Figure 28 : distribution des teneurs du Potassium en mg/kg de boue

ANNEXE 3 : RESULTATS D'ANALYSES DES BOUES SECHEES

Résumé des résultats d'analyses des BV séchées de la Station de Zagtoui																
Descriptions	Paramètres	Unités	03/09/2015	10/09/2015	01/10/2016	09/10/2016	15/10/2016	22/10/2016	29/10/2016	05/11/2016	12/11/2016	19/11/2016	26/11/2016	03/12/2016	Moyenne	référence normative
Paramètre physique	MS	%	92,49	79,95	75,30	94,95	95,93	67,42	90,28	93,47	92,98	86,22	82,31	94,38	87,14	>50%
	Humidité	%	7,51	20,05	24,70	5,05	4,07	32,58	9,72	6,53	7,02	13,78	17,69	5,62	12,86	
	pH		6,28	6,35	6,68	6,46	6,31	6,47	6,54	6,52	7,5	6,72	6,51	6,97	6,61	
	Conduct	mS/cm	2,34	1,549	1,347	1,377	0,644	2,07	1,79	3,31	1,448	1,723	1,218	1,977	1,73	
	MO	%	55,03	49,51	48,52	40,13	46,79	45,61	51,82	47,50	51,23	48,50	33,01	49,08	47,23	>30%
	MM	%	44,97	50,49	51,48	59,87	53,21	54,39	48,18	52,50	48,77	51,50	66,99	50,92	52,77	
Matière azoté	NTK		0,07	0,26	0,24	0,08	0,13	0,31	0,22	0,09	0,38	0,24	0,56	0,86	0,29	< 3%
	N-NH4+	%	3,00	20,00	0,19	0,03	0,11	0,25	0,13	0,07	0,16	0,13	0,53	0,81	2,12	
	N-organique	%	0,04	0,06	0,05	0,05	0,02	0,06	0,09	0,02	0,22	0,11	0,03	0,06	0,07	
Element fertilisant	COT	%	0,23	0,21	0,24	0,24	0,23	0,19	0,22	0,21	0,24	0,24	0,23	0,29	0,23	
	C/N		6,05	3,78	4,88	4,75	11,48	3,02	2,44	12,19	1,12	2,26	6,7	5,18	5,32	
	P2O5	%	0,2088	0,381	0,2982	0,4008	1,9314	1,2318	1,725	1,6704	1,29	1,0812	1,206	0,5742	1,00	< 3%
	K2O	%	0,0899	0,0904	0,0878	0,0869	0,088	0,1397	0,1449	0,4075	0,1176	0,1243	0,0921	0,1097	0,13	< 3%
	MgO	mg/Kg	2015	475,54	6129,63	8704,8	934,96	5239	4920,63	5222,88	11284	11425,05	1821,56	7810,14	5498,60	
	CaO	mg/Kg	3927	3309,9	1969,11	28274,4	1301,52	25245	1868,13	6058,8	3366	15904,35	20285,76	14305,5	10484,62	
	Na2O	mg/Kg	301,643	244,765	314,717	401,383	279,404	1771,04	1927,39	2661,96	1179,35	516,217	1498,78	1066,13	1013,56	
	N+P+K	%	0,37	0,73	0,63	0,57	2,15	1,68	2,09	2,17	1,79	1,45	1,86	1,54	1,42	< 7%
Metaux lourds	Zn	mg/Kg	302,9	308,1	304	303,2	303,9	299,4	302,7	314,1	218	274	301	299,8	294,26	3000
	Pb	mg/Kg	15,55	7,839	8,876	4,092	7,943	7,752	4,686	7,601	9,822	8,154	9,314	10,259	8,49	800
	Cd	mg/Kg	0,8072	0,7812	0,6486	0,7077	0,7826	0,1604	0,7025	0,3274	0,5928	0,8019	0,6623	0,7011	0,64	10
	Ni	mg/Kg	11,19	12,54	10,59	11,98	8,55	7,51	10,25	11	10,025	9,869	11,115	10,896	10,46	200
Microbiologie	E coli	UFC/g	1 740	0	60	1 640	0	260	520	230	0	0	18	9	373	
	SF	UFC/g	34 000	42 000	13 700	6 900	13 300	274 000	151 000	17 800	2 950	276	420	23	46 364	10 0000/gMS
	CF	UFC/g	8 300	70	20	1 480	1 450	14 200	16 200	1 470	435	71	16	45	3 646	10 000/g MS

ANNEXE 4 : RESULTATS D'ANALYSES DU PERCOLAT (POUR LE MOIS DE SEPTEMBRE)

Résultats d'analyses du Percolats de ZAGTOULI (Mois de septembre)																	
Paramètres		Unités	03/09/2015					10/09/2015					01/10/2015				
			Résultats d'analyses			% d'abattement		Résultats d'analyses			% d'abattement		Résultats d'analyses			% d'abattement	
			EZ	ANA	FAC	ANA	STEP	EZ	ANA	FAC	ANA	STEP	EZ	ANA	FAC	ANA	STEP
Physico-chimique	pH	*	7,63	7,78	8,21			7,5	7,71	8,1			7,72	7,55	8,23		
	Cond	mS/cm	5,31	3,84	2,55			6,3	4,53	2,6			5,25	4,68	2,37		
	Temper	° C	31,90	31,50	30,80			35,2	37,4	38,2			33,5	33,2	34,5		
	MES	mg/L	204,00	174,00	176,00	14,71%	13,73%	217	186	170	14,29%	21,66%	162	156	128	3,70%	20,99%
	DBO5	mg/L	353,00	213,00	124,00	39,66%	64,87%	922	227	198,9	75,38%	78,43%	712	254	128	64,33%	82,02%
	DCO	mg/L	724,00	395,00	271,00	45,44%	62,57%	1415	725	371	48,76%	73,78%	1094	582	388	46,80%	64,53%
	DCO/DBO5	*	2,05	1,85	2,19			1,53	3,19	1,87			1,54	2,29	3,03		
	NO3-	mg/L	17,00	3,30	0,90	80,59%	94,71%	23	6,3	3,7	72,61%	83,91%	21	3,5	18,5	83,33%	11,90%
	SO42-	mg/L	26,00	58,00	49,00	-123,08%	-88,46%	2	28	45	-13,00%	-21,50%	30	42	53	-40,00%	-76,67%
	PO43-	mg/L	111,00	21,00	168,00	81,08%	-51,35%	182	76	62	58,24%	65,93%	58,2	98	27	-68,38%	53,61%
Bactériologique	E Coli	UFC/100mL	970 000	70000	0	92,78%	100,00%	35000	0	0	100,00%	100,00%	470000	31000	0	93,40%	100,00%
	CF	UFC/100mL	970 000	850 000	70 000	12,37%	92,78%	1 500 000	971 000	287 000	35,27%	80,87%	3 700 000	720 000	0	80,54%	100,00%
	SF	UFC/100mL	679 000	460 000	110 000	32,25%	83,80%	932 000	770 000	253 000	17,38%	72,85%	951 000	780 000	291 000	17,98%	69,40%

Résultats d'analyses du percolât (pour le mois d'octobre).

Tableau No2: Résultats d'analyses des Percolats de ZAGTOULI (mois d'octobre)																	
Paramètres		Unités	08/10/2015					15/10/2015					22/10/2015				
			Résultats d'analyses			% d'abattement		Résultats d'analyses			% d'abattement		Résultats d'analyses			% d'abattement	
			EZ	ANA	FAC	ANA	STBV	EZ	ANA	FAC	ANA	STBV	EZ	ANA	FAC	ANA	STBV
Physico-chimique	pH	*	7,53	7,64	8,04			7,44	7,73	8,08			7,46	7,68	8,17		
	Cond	mS/cm	6,06	5,01	2,84			5,35	5,83	3,01			5,3	4,59	3,08		
	Temper	° C	36,1	34,5	35,2			38,4	37,1	36,8			32,7	33,2	32		
	MES	mg/L	188	174	166	7,45%	11,70%	107	97	93	9,35%	13,08%	250	187	142	25,20%	43,20%
	DBO5	mg/L	739	339	155	54,13%	79,03%	240	226	155	5,83%	35,42%	757	297	141	60,77%	81,37%
	DCO	mg/L	1049	682	328	34,99%	68,73%	727	578	302	20,50%	58,46%	915	606	307	33,77%	66,45%
	DCO/DBO5	*	1,42	2,01	2,12			3,03	2,56	1,95			1,21	2,04	2,18		
	NO3-	mg/L	18,3	14,5	2,6	20,77%	85,79%	15	13,6	4,1	9,33%	72,67%	19	10,1	2,2	46,84%	88,42%
	SO42-	mg/L	13	2	48	84,62%	-26,92%	25	44	54	-76,00%	-116,00%	72	42	50	41,67%	30,56%
	PO43-	mg/L	85	78	106	8,24%	-24,71%	44	74	61	-68,18%	-38,64%	87,5	96	64	-9,71%	26,86%
Bactériologique	E Coli	UFC/100mL	690000	2000	0	99,71%	100,00%	840000	22000	170000	97,38%	79,76%	640000	140000	75000	78,13%	88,28%
	CF	UFC/100mL	1 150 000	128 000	57 000	88,87%	95,04%	1 010 000	0	20 000	100,00%	98,02%	2 300 000	890 000	60 000	61,30%	97,39%
	SF	UFC/100mL	580 000	0	94 000	100,00%	83,79%	872 000	690 000	34 000	20,87%	96,10%	1 310 000	697 000	0	46,79%	100,00%

Résultats d'analyses du percolât (pour le mois de novembre)

Tableau No3: Résultats d'analyses des Percolats de ZAGTOULI																	
Paramètres		Unités	29/10/2015					05/11/2015					12/11/2015				
			Résultats d'analyses			% d'abattement		Résultats d'analyses			% d'abattement		Résultats d'analyses			% d'abattement	
			EZ	ANA	FAC	ANA	STBV	EZ	ANA	FAC	ANA	STBV	EZ	ANA	FAC	ANA	STBV
Physico-chimique	pH	*	7,25	7,62	8,16			7,5	7,59	7,92			7,86	7,42	8,11		
	Cond	mS/cm	6,08	4,67	2,86			4,45	4,65	3,12			3,62	2,92	1,917		
	Temper	° C	37,5	33,1	34			33,5	33,5	32,6			33,1	32,7	33,8		
	MES	mg/L	304	189	123	37,83%	59,54%	248	179	99	27,82%	60,08%	260	188	158	27,69%	39,23%
	DBO5	mg/L	395	295	169	25,32%	57,22%	898	367	158	59,13%	82,41%	381	168	103	55,91%	72,97%
	DCO	mg/L	835	535	364,5	35,93%	56,35%	1759	764,5	411	56,54%	76,63%	784	369	217	52,93%	72,32%
	DCO/DBO5	*	2,11	1,81	2,16			1,96	2,08	2,60			2,06	2,20	2,11		
	NO3-	mg/L	12,6	10,5	1,8	16,67%	85,71%	18	10	2,2	44,44%	87,78%	18	11,3	7,6	37,22%	57,78%
	SO42-	mg/L	7	2	38	71,43%	-44,29%	61	38	51	37,70%	16,39%	22	34	17	-54,55%	22,73%
PO43-	mg/L	54,5	100	68	-83,49%	-24,77%	117	90	74	23,08%	36,75%	73	56	41	23,29%	43,84%	
Bactériologique	E Coli	UFC/100mL	920000	590000	290000	35,87%	68,48%	850000	580000	0	31,76%	100,00%	730000	45000	32000	93,84%	95,62%
	CF	UFC/100mL	8 400 000	690 000	53 000	91,79%	99,37%	1 040 000	960 000	120 000	7,69%	88,46%	6 200 000	430 000	32 000	93,06%	99,48%
	SF	UFC/100mL	2 020 000	1 010 000	360 000	50,00%	82,18%	1 810 000	1 000 000	480 000	44,75%	73,48%	528 000	490 000	201 000	7,20%	61,93%

Résultats d'analyses du percolât (pour le mois de Décembre)

Tableau No4 : Résultats d'analyses des Percolats de ZAGTOULI																	
Paramètres		Unités	19/11/2015					26/11/2015					03/12/2015				
			Résultats d'analyses			% d'abattement		Résultats d'analyses			% d'abattement		Résultats d'analyses			% d'abattement	
			EZ	ANA	FAC	ANA	STEP	EZ	ANA	FAC	ANA	STBV	EZ	ANA	FAC	ANA	STBV
Physico-chimique	pH	*	7,73	7,66	7,95			7,47	7,78	8,15			7,64	7,84	8,25		
	Cond	mS/cm	5,8	3,17	2,298			6,52	4,12	3,38			6,75	5,02	3,18		
	Temper	° C	34,2	35,3	33,7			31,8	30,9	31,1			29,8	28,2	28,6		
	MES	mg/L	280	194	122	30,71%	56,43%	250	148	106	40,80%	57,60%	299	197	147	34,11%	50,84%
	DBO5	mg/L	329	201	133	38,91%	59,57%	298	192	112	35,57%	62,42%	369	197	121	46,61%	67,21%
	DCO	mg/L	817	450	261	44,92%	68,05%	1090	864	351	20,73%	67,80%	973	697	504	28,37%	48,20%
	DCO/DBO5	*	2,48	2,24	1,96			3,66	4,50	3,13			2,64	3,54	4,17		
	NO3-	mg/L	25	14,9	8,25	40,40%	67,00%	15	27	9,15	-80,00%	39,00%	22	14,5	4,6	34,09%	79,09%
	SO42-	mg/L	38	35	42	7,89%	-10,53%	24	41	29	-70,83%	-20,83%	52	37	49	28,85%	5,77%
	PO43-	mg/L	107	88	59	17,76%	44,86%	88	92	35	-4,55%	60,23%	79	56	61	29,11%	22,78%
Bactériologique	E Coli	UFC/100mL	490000	415000	0	15,31%	100,00%	750000	60000	30000	92,00%	96,00%	60000	0	0	100,00%	100,00%
	CF	UFC/100mL	990 000	810 000	350 000	18,18%	64,65%	475 000	380 000	105 000	20,00%	77,89%	5 600 000	3 700 000	102 000	33,93%	98,18%
	Entero	UFC/100mL	981 000	700 000	254 000	28,64%	74,11%	372 000	0	0	100,00%	100,00%	107 000	0	160 000	100,00%	-49,53%