



SUIVI DES PARAMETRES SANITAIRES DANS LE TRAITEMENT DES BOUES DE VIDANGE SUR LITS DE SECHAGE A OUAGADOUGOU

**MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER II
OPTION : Eau et Assainissement**

Présenté et soutenu publiquement le 23 juin 2014 par

Lumière DINGAMNAYEL

**Travaux dirigés par : TADJOUWA KOUAWA
Doctorant LEDES**

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Mariam SOU

Membres et correcteurs : Seyram SOSSOU
Noellie KPODA
TADJOUWA KOUAWA

Promotion [2013/2014]

DEDICACES

A

- ✓ La mémoire de mon cher père qui a cru en moi et fait de ma réussite sa principale préoccupation.
- ✓ Ma mère pour son amour, son soutien et ses multiples conseils.
- ✓ La famille DOMTINET DJIMTA pour son accueil et appui financier.
- ✓ Mes frères et sœurs.
- ✓ Toute la famille et les amis.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce document est le fruit de la contribution de plusieurs personnes qui se sont données vraiment corps et âme et dont je voudrais par ce biais profiter pour leurs présenter mes sincères remerciements.

Avant toute chose, je rends grâce d'abord au Dieu Tout Puissant pour sa protection durant le stage et d'avoir permis à ce qu'il ait lieu dans de bonnes conditions.

Je remercie l'ensemble du personnel de la Fondation 2iE à savoir les enseignants (docteurs, enseignants chercheurs, ingénieurs, doctorants etc.) et l'administration pour leur encadrement et formation. Mes pensées vont particulièrement au service de stage pour leur effort consenti (lettre de recommandation, conventions de stage, engagement de confidentialité et fiche d'évaluation de stage) pour la réalisation de ce mémoire.

Ma gratitude va également à l'attention de mon encadreur M. TADJOUWA KOUAWA pour sa confiance placée en ma modeste personne, ses conseils, ses orientations et surtout sa disponibilité malgré ses multiples occupations.

Je remercie le Responsable du LEDES M. Yacouba KONATE en général et le Responsable du laboratoire de microbiologie M. Seyram SOSSOU en particulier pour la disponibilité des matériels d'analyses microbiologiques. Je ne perdrais pas de vue les techniciens du laboratoire à savoir M. Noël TIENDOURE pour son aide dans les analyses et les résultats et M. KABORE Pierre pour sa précieuse aide lors des séances d'alimentation de nos pilotes expérimentaux.

Enfin je remercie vivement ma collègue Mlle Danielle KOUMBADINGA pour le travail abattu ensemble (alimentations des lits et prélèvement des échantillons), l'ensemble des stagiaires du LEDES pour leur collaboration et mes condisciples étudiants du master 2 Eau et Assainissement de la promotion 2013-2014 pour le temps passé ensemble.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

RESUME

L'assainissement autonome est le type d'assainissement le mieux adapté pour les PED et est pratiqué par de nombreux pays africains et asiatiques. L'accroissement démographique galopant des PED entraîne d'énormes quantités de boues de vidanges issues des ouvrages d'assainissement autonome (latrines et fosses septiques). Au Burkina Faso, le PN AEPA visait à augmenter de 43% de 2005 à 2015 le taux d'accès à l'assainissement en milieu urbain par la mise en place des latrines et fosses septiques. Avec une telle politique, la ville fera face à de très grandes quantités de boues de vidange qu'il faudra gérer. Par manque de filière de traitement adéquat, les boues de vidange sont déversées de manière anarchique dans la nature. Ces pratiques pourraient engendrer des conséquences fâcheuses pour l'Homme et l'environnement vu la dangerosité des polluants chimiques et biologiques qu'elles contiennent. En réponse à cet état de fait, l'ONEA a planifié la mise en place de 2 stations de traitement des boues de vidange par lits de séchage dans la ville de Ouagadougou. La présente étude a consisté à faire un choix entre les lits de séchage plantés et les lits de séchage non plantés à partir de test expérimentaux. Le dispositif expérimental servant à faire les tests est constitué de 6 lits de séchages dont 3 lits non plantés et 3 lits plantés. Le macrophyte utilisé pour les lits plantés est *Cyperus alopecuroides*. Le travail a consisté à évaluer les performances des lits de séchage plantés et des lits de séchage non plantés alimenté par bâchée de la même charge. Les périodes de repos retenues étaient 3 jours, 6 jours et 9 jours. Les concentrations moyennes de coliformes fécaux, de streptocoques fécaux et d'œufs d'helminthes ont été évaluées. A l'issue de l'étude, il a été constaté que les lits de séchage d'une durée de repos de 9 jours ont une meilleure performance. Les résultats ont aussi révélé un abattement en Streptocoques de 0,8 ulog et un abattement en coliformes fécaux de 0,7ulog. Pour la parasitologie, les meilleurs rendements en élimination des œufs d'helminthes (99,8% et 99,3%) sont obtenus respectivement avec le lit de séchage non planté de 6 jours de repos et le lit de séchage planté de 9 jours de repos.

Mots clés :

- 1- Assainissement autonome
- 2- Boues de vidange
- 3- Paramètres microbiologiques
- 4- Lits de séchage non plantés
- 5- Lits de séchage plantés.

ABSTRACT

On-site sanitation is the most suitable remediation strategy for developing countries and is elected by good number of African and Asian countries. The galloping population growth in developing countries leads to huge amounts of sewage sludge resulting from on-site sanitation facilities (latrines and septic tanks). In Burkina Faso, the PN AEPA aimed to increase of 43% by 2015 the access to sanitation in urban areas by setting up latrines and septic tanks rates. With such policy, the city will face large quantities of sludge that must be managed. Indeed, lack of adequate treatment industry, the sludge is dumped haphazardly in nature. These practices could lead to negative consequences for humans and the environment saw the danger of chemical and biological pollutants they contain. It is in this order of idea that ONEA planned the establishment of two treatment plants with sludge drying beds in the city of Ouagadougou. This study was to make a choice between drying beds planted and unplanted drying beds from experimental tests. The experimental device used to make the test is made of 6 beds drying with 3 beds planted and 3 unplanted beds. The macrophytes used for planted beds is *Cyperus alopecuroides*. The task was to estimate the purifying performance of planted drying beds and unplanted drying beds feed by sequence of the same capacity. The selected return periods was 3 days, 6 days and 9 days. The average concentrations of fecal coliforms, fecal streptococcus and helminthic eggs was calculated.

At the end of the study, it was found that the drying beds of 9 rest day (E1 and E4) have a better performance. The results also showed a reduction of Streptococcus of 0,8 ulog and a reduction of fecal coliforms of 0,7 ulog. In Parasitology, the best yields helminthic eggs (99.8% and 99.3%) were obtained respectively with the unplanted drying bed of 6 rest period and the planted drying bed of 9 rest period.

Key words

- 1- One-site sanitation
- 2- Sewage sludge
- 3- Microbiological parameters
- 4- Unplanted drying beds
- 5- Planted drying beds.

LISTE DES ABREVIATIONS

2IE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

BV : Boues de Vidange

BVNP : Boues de Vidange des lits Non Plantés

BVP : Boues de Vidange des lits Plantés

CF : Coliformes Fécaux

DBO5 : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

EAWAG : Institut National Suisse de Recherche dans le domaine de l'Eau.

LEDES : Laboratoire Eau Dépollution Ecosystème et Santé

LNP : Lits Non Plantés

LP : Lits Plantés

MES : Matières En Suspension

MVS : Matières Volatiles en Suspension

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONEA : Office Nationale pour l'Eau et l'Assainissement

PED : Pays En Développement

PN AEPA : Programme National d'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

SF : Streptocoques Fécaux

STEP : Station d'épuration

UFC : Unité Format Colonie

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	i
REMERCIEMENTS	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
TABLE DES MATIERES	vi
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTES DES ILLUSTRATIONS	ix
I- INTRODUCTION	1
1. Contexte.....	1
2. Problématique.....	2
3. Objectifs de l'étude.....	3
II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1. Les boues de vidange	4
1.1- Définition	4
1.2- Typologie et caractéristiques des boues de vidange	4
1.3- Les différents traitements appliqués aux boues de vidanges	8
2. Les lits de séchage.....	11
2.1 Les lits de séchage non plantés	11
2.2 Les lits de séchage plantés	13
III. PRESENTATION DE LA GESTION DES BOUES DE VIDANGE A OUAGADOUGOU	20
1. Présentation de la ville de Ouagadougou	20
1.1 Le milieu physique.....	20
1.2 Le milieu humain et social.....	21
1.3 Gestion des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou.....	22
IV- MATERIELS ET METHODES	26
1. Présentation du dispositif expérimental	26
2. Approvisionnement des boues	27
3. Détermination de la concentration des matières en suspension (MES)	28
4. Alimentation des lits.....	28
5. Prélèvement des échantillons	29
6. Analyse des échantillons de boues brutes et des percolats.....	30

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

6.1 L'analyse bactériologique	30
6.2 Détermination des œufs d'helminthes dans les boues brutes et les percolats	31
7. Détermination des performances épuratoires des lits (rendement et abattement)	31
V. RESULTATS ET DISCUSSION	33
1. Alimentation des lits de séchage	33
2. Caractéristiques biologiques des boues brutes	33
2.1- Paramètres bactériologiques	33
2.2- Paramètres parasitologiques	35
3. Caractéristiques biologiques des percolats	36
3.1- Paramètres bactériologiques	36
3.2- Paramètres parasitologiques	37
4. Performances épuratoires des lits de séchage	39
4.1- Paramètres bactériologiques	39
4.2- Paramètres parasitologiques	40
VI. PARAMETRES INFLUENCANT LA PERFORMANCE DU SYSTEME.....	42
1. La durée de stockage des boues avant l'alimentation des lits	42
1.1 Le phénomène de broutage ou prédation	43
1.2 Diminution des nutriments.....	43
2. La croissance des macrophytes	43
3. Le colmatage	44
VII. CONCLUSION	45
VIII. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	46
IX. BIBLIOGRAPHIE	48
X. ANNEXES	I
Annexe 1 : Protocole d'analyses des paramètres bactériologiques	I
Annexe 2 : Protocole d'analyse des œufs d'helminthes (Bailenger modifié par Bouhoum et Schwartzbrod).....	II
Annexe 3 : Photos des œufs d'helminthes retrouvés dans les échantillons.....	III
Annexe 4 : Caractéristiques des boues brutes	IV
Annexe 5 : Caractéristiques des percolats	VI
Annexe 5 : performances épuratoire des lits	X
Annexe 6 : quelques formules de calcul	XII

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Caractéristiques physico-chimiques des boues de vidange de certaines villes et pays.....	6
Tableau II: Exemple de caractérisation des paramètres biologiques des boues de vidange dans quelques villes.....	7
Tableau III: Résumé de quelques technologies de traitement des BV à faible cout ou extensives (Klingel et al., 2004).....	10
Tableau IV: Quelques exemples de la constitution du massif filtrant.....	14
Tableau V: Quelques performances épuratoires des lits de séchage plantés de roseaux.	18
Tableau VI: Présentation des densités de la population des arrondissements de Ouagadougou. (RGPH, 2006).....	21
Tableau VII: Qualité recommandée pour la réutilisation des eaux usées traitées (OMS 2006)	22
Tableau VIII: Exemple d'une qualité biologique des BV de la ville de Ouagadougou (Barro, 2012).....	24
Tableau IX: Méthode d'analyse bactériologique des échantillons	31
Tableau X: Données des lits de séchage	33
Tableau XI: Caractéristiques bactériologiques des boues brutes.	33
Tableau XII: Comparaison de concentrations de bactéries obtenues avec celles de la littérature.	34
Tableau XIII: Caractéristiques des paramètres parasitologiques des boues brutes.....	35
Tableau XIV: Caractéristiques bactériologiques des percolats.....	36
Tableau XV: Valeurs moyennes des œufs d'helminthes des lits expérimentaux.	37
Tableau XVI: Performances épuratoires des lits de séchage en coliformes et streptocoques..	39
Tableau XVII: Rendements épuratoires en œufs d'helminthes des lits de séchage.	40

LISTES DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Vue d'ensemble des techniques de traitement à faible coût des boues de vidange et leurs combinaisons envisageables (Koanda, 2006).....	9
Figure 2: Principe de fonctionnement d'un lit de séchage non planté (Klingel et al, 2002)	12
Figure 3: Composition d'un lit de séchage planté de roseaux (Liénard et al, 2008)	15
Figure 4: Caractéristiques bactériologiques des boues brutes et des percolats des lits.....	37
.Figure 5: Caractéristiques parasitologiques des boues brutes et des percolats des lits.	38
Figure 6: Abattement en bactéries coliformes et streptocoques des lits non plantés et plantés.	39
Figure 7: Courbes du taux de diminution des bactéries en fonction de la durée de stockage des boues.....	42
Photo 1: Vue d'ensemble des pilotes expérimentaux dont 3 lits plantés et 3 lits non plantés..	27
Photo 2: Approvisionnement des boues par WEMTING-VIDANGE et les cuves de stockage.	27
Photo 3: Séance d'alimentation des lits de séchage.....	29
Photo 4: Prélèvement de boues brutes (à gauche) et des percolats (à droite).	30
Photo 5: Dispositif d'alimentation des lits de séchage (Kengne, 2006)	46

I- INTRODUCTION

1. Contexte

En l'an 2000, les acteurs de l'aide au développement avaient encore remarqué avec inquiétude que le tiers de la population mondiale, soit 2,6 milliards, n'avaient pas accès à des ouvrages d'assainissement améliorés (Mbéguéré et *al.*, 2009). Les dirigeants des PED se sont alors résolus à donner un coup de pouce pour la résolution de ce problème lors du sommet du millénaire tenu à New York en septembre 2000. Lors de ce sommet, ils se sont engagés à œuvrer pour réduire de moitié au plus tard en 2015, la proportion de la population qui n'a pas accès de façon durable à un approvisionnement en eau potable et à un assainissement adéquat. Dès lors, la plupart des programmes de développement soutiennent ce secteur par de nombreux investissements importants. Ces derniers favorisent l'accès aux infrastructures telles que les latrines améliorées, les fosses septiques, les réseaux d'égouts collectifs ou semi-collectifs, les stations de traitement des eaux usées et de boues de vidange (Mbéguéré et *al.*, 2009)

L'assainissement collectif consistant en la mise en place des réseaux d'égout est moins adapté aux PED car nécessitant des débits de rejet d'eaux usées relativement importants (souvent engendrés par une forte densité de la population) et une forte capacité financière. Ainsi bon nombre des PED se sont tournés vers l'assainissement autonome. En 2008, Mbéguéré et *al.*, ont rapporté que 65 à 100% des habitants des villes d'Afrique et d'Asie et 20 à 50% de ceux d'Amérique du Sud utilisent des systèmes d'élimination qui ne sont pas raccordés à un système d'égout. Ces systèmes sont constitués principalement des latrines et des fosses septiques.

En Afrique de l'Ouest, il existe dans certaines villes comme le Burkina Faso, Ghana, Sénégal, Côte d'Ivoire et Mali, des initiatives portant sur le système de traitement des boues de vidange. Ces systèmes sont constitués des technologies extensives ou à faibles coûts qui sont soit utilisées séparément soit en combinaison avec d'autres. Ce sont : les bassins de sédimentation/épaississement, le Co-compostage avec les déchets solides, les lits de séchage, la digestion anaérobie avec production de gaz, le décanteur-digester etc.

Au Burkina Faso, la couverture en assainissement au niveau national était de 29% en 2005 (TEARFUND, 2007). Face à cette situation (71% de la population sans accès à l'assainissement), le pays s'est engagé à travers son Programme PN-AEPA d'augmenter de 43% le taux d'accès à l'assainissement en milieu urbain et essentiellement par la construction

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

des latrines et des fosses septiques. C'est ainsi qu'en 2009, plus de 95% de la population de Ouagadougou avait recours à des ouvrages d'assainissement autonome pour la gestion des eaux et excréta (Bassan et *al*, 2010). Pour gérer les sous-produits de l'assainissement, l'ONEA a mis en place une station de traitement des eaux usées (STEP) à Ouagadougou en 2005 et une autre à Bobo-Dioulasso en 2009. Cependant, ces deux stations qui assurent principalement l'épuration des eaux usées industrielles ne prennent pas en compte le traitement des boues de vidange issues des ouvrages d'assainissement autonome. C'est dans cette lancée que l'ONEA a encore planifié la construction de deux stations de traitement des boues de vidange à Ouagadougou, une à Kossodo et une autre à Zagtoui (en cours de construction) pour le traitement de ces sous-produits d'assainissement (boues de vidange). Parmi les divers procédés de traitement des boues de vidange, les lits de séchage sont particulièrement intéressants pour les villes et collectivités où l'assainissement non collectif est prédominant et spécifiquement pour les PED (Vincent, 2011 ; Troesch, 2009 ; Kengne, 2006 ; Koottatep et *al*, 2005 ; Liénard et Payrestre, 1996). Le choix de la technologie a porté sur les lits de séchage non plantés. Cependant ce choix a été opéré par manque de données permettant de comparer les lits de séchage non plantés et les lits de séchage plantés. Par ailleurs, à la suite des résultats expérimentaux sur les lits de séchage plantés (s'ils sont positifs), les lits de séchage non plantés pourraient être transformés en lits de séchage plantés.

2. Problématique

Les installations d'assainissement autonome induisent une grande quantité de boues qu'il faut gérer. En effet, une étude menée par le Fond des Nations Unies pour la Population en 2006 a révélé qu'en Afrique et en Asie la population doublera de 2000 à 2030. Avec cet accroissement démographique galopant et avec l'amélioration de l'accès à l'assainissement, l'Afrique fera face à une énorme quantité de boues de vidange. Les ouvrages d'assainissement autonome (latrines et fosses septiques) nécessitent une vidange après un certain temps d'utilisation. Ainsi pour gérer les sous-produits de l'assainissement issus de ces ouvrages, la population fait appel à la vidange mécanique et à la vidange manuelle. A l'heure actuelle, beaucoup des stations de traitement des boues de vidange construites en Afrique ou en Asie rencontrent des difficultés, pas seulement à cause des problèmes techniques mais aussi à cause d'un manque de gestion idoine (Chris Zurbrugg, 2007). Les boues sont alors malheureusement déversées sans traitement préalable à côté des habitations, dans les cours d'eaux, dans les champs, les caniveaux ou sur des terrains vagues. Les boues de vidange ont souvent une forte concentration en métaux lourds et en germes pathogènes. Ainsi leur

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

déversement anarchique sans traitement pourrait provoquer de graves répercussions sur la santé de la population (surtout les riverains), la pollution de l'eau, la pollution visuelle et les nuisances olfactives (Klingel et *al.*, 2002). En 2004, l'OMS estimait que 133 millions de personnes dans le monde entier souffrent d'infections dues aux helminthes intestinaux et 1,8 millions de personnes meurent chaque année de maladies d'origine hydrique comme la diarrhée. Mbégué et *al* (2009) rapportent que 1,6 millions de personnes meurent par an par manque d'assainissement et la mauvaise gestion des infrastructures d'assainissement. Alors que les boues issues de ces infrastructures peuvent être hygiénisées pour réduire ou empêcher tout risque de contamination ou encore être valorisées par des technologies appropriées (transformation des boues fraîches en biogaz par exemple).

3. Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est de déterminer les performances des lits de séchage pour l'élimination de la pollution microbiologique dans le traitement des boues de vidange de Ouagadougou à partir de pilotes expérimentaux.

Afin d'atteindre l'objectif global fixé, nous nous sommes fixés quelques objectifs spécifiques.

Objectifs spécifiques

Les deux (2) objectifs spécifiques ci-dessous ont été retenus :

Objectif spécifique 1 : Déterminer les performances sanitaires des lits de séchage plantés et les lits de séchage non plantés.

Objectif spécifique 2 : Déterminer les paramètres influençant la performance du système.

Le présent document est décomposé en quatre (4) parties. La première partie porte sur la synthèse bibliographique, ensuite la deuxième présente la gestion des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou, la troisième présente les matériels et méthodes utilisés pour l'étude, et la dernière partie qui donne les résultats obtenus ainsi que leurs interprétations. Et pour clore, une partie sur la détermination des paramètres influençant la performance du système.

II. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Ce chapitre consiste à présenter la revue bibliographique sur le traitement des boues de vidange par lits de séchage plantés et non plantés. Il s'agira plus spécifiquement d'aborder les questions portant sur les boues de vidange, les lits de séchage non plantés et les lits de séchage plantés de macrophytes ou de roseaux.

1. Les boues de vidange

1.1- Définition

Les boues de vidange sont un mélange de matières fécales, d'urines et d'eau de consistance variable collectées par les systèmes d'assainissement autonome ou non raccordés au réseau d'égout (Montangero and Strauss, 2002). Elles peuvent contenir des écumes (matières en suspensions flottantes, graisses) mais aussi des éléments grossiers solides (plastiques, morceaux de tissu, métal, brindilles). Leur couleur varie du brun foncé au noir. Les boues de vidange de couleur noire ou boues stables sont celles provenant des fosses septiques. Les boues brunes sont dites putréfiantes et proviennent des toilettes publiques ou de latrines familiales vidangées chaque 2 ou 3 semaines ou même plus.

1.2- Typologie et caractéristiques des boues de vidange

Montangero and Strauss (2002) subdivisent les boues de vidange en deux types suivant leur concentration : 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 et autres. Les boues de type B sont au contraire peu concentrées, stockées depuis plusieurs années et partiellement stables provenant des dispositifs d'assainissement autonome des ménages (fosses septiques, latrines).

Plusieurs études menées par différents auteurs ((Mahamane, 2011) ; Troesch, 2009 ; Liénard et al, 2007 ; Kengne, 2006 ; Cissé, 2011 ; Raymond, 2008) rapportent que les caractéristiques des boues de vidange varient considérablement d'une région à une autre, d'un pays à un autre, d'une ville à une autre et même au sein d'une même ville.

Cette variation dépend de plusieurs facteurs qui sont :

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

❖ Le type d'ouvrage d'assainissement non collectif mis en place

En fonction du type d'ouvrage mis en place, nous avons les boues de vidange d'une consistance variable. Les boues des latrines VIP par exemple sont compactes et donc difficile à vidanger par les camions de vidange. Mais par contre dans les fosses septiques où on utilise une quantité importante d'eau, les boues sont liquides et faciles à vidanger.

❖ Le mode de vidange

Selon qu'il s'agit d'une vidange manuelle ou mécanique, on a des boues d'aspects différents. Les boues issues de la vidange manuelle ne sont pas diluées tandis que celles provenant de la vidange mécanique sont assez diluées pour faciliter la vidange.

❖ La fréquence de vidange

La teneur en matière organique des boues varie considérablement en fonction du temps de retour de vidange. Selon le temps de retour de vidange, les microorganismes disposent d'un certain temps (court ou assez long) pour dégrader les matières organiques insolubles. Ainsi les boues des fosses septiques sont biochimiquement stables car disposant d'une durée de stockage longue alors que celles des toilettes publiques vidangées à un intervalle de quelques semaines (2 à 3 semaines) sont concentrées.

❖ La température

La température influe sur l'activité des microorganismes notamment sur leur durée de vie. Ainsi les boues exposées à une forte température sont moins riches en microorganismes que celles ayant une faible température.

Le tableau I récapitule les caractéristiques physico-chimiques des boues de vidanges dans certaines villes.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Tableau I: Caractéristiques physico-chimiques des boues de vidange de certaines villes et pays.

Auteurs	USEPA (1999)	Liénard (2004)	SIBEAU	Canler (2010)	Koné et Strauss (2003)		Kengne (2006)	Crites&G Tchobano glous (1998)	Mahamane (2011)	Koottatep et al (2005)	Robidoux et al (1998)	Barro (2012)
Pays (climat)	USA (tempéré)	France (tempéré)	Cotonou	France (tempéré)	Ghana	Argentine	Yaoundé	-	Ouagadougou	Thaïlande	-	Ouagadougou
Unité statistique	(min-max)	Médiane (écart- type)	Moyenne	Moyenne (écart- type)	-	-	Moyenne (max-min)	Moyenne	Moyenne (min-max)	Moyenne (min-max)	Médiane (min-max)	Moyenne (min-max)
DCO (mg/L)	1500- 703000	15000 (28516)	8400	29700 (13400)	7800	4200	29900 (10800- 68400)	15000	11973 (409-54103)	15700 (1108-76075)	29500 (1100- 150000)	6930 (460-24500)
DBO₅ (mg/L)	440-78600	3735 (6382)	1740	5800 (5000)	840	(750-2600)	-	7000	1981 (253-7400)	2300 (630-5550)	4800 (11-80000)	
MS (mg/L)	1132- 130475	17000 (26400)	-	35000 (25000)	12000		33400 (3300- 130000)	40000	12919 (1415-43795)	15350 (2202-67200)	-	8608 (946-23314)
MES (mg/L)	310-93378	5590 (12176)	12868	29000 (23500)	-	(6000- 35000)	33400 (2500- 226000)	15000	11084 (1083-51920)	12900 (980-34667)	-	5492 (290-21660)
MVS (mg/L)	95-51500	69,9%ME S (10,9)	-	65,3%M ES (14,6)	59%M S	-	62600 (31100- 90700)	-	7840 (538-29600)	9250 (840-34667)	-	4996 (422-17098)
NK (mg/L)	66-1060	1032 (579)	-	885 (472)	-	190	-	700	-	1100 (226-4880)	324 (7-3800)	-
NH₄⁺ (mg/L)	97 (3-116)	531 (280)	-	169 (64)	-	150	600 (80-3300)	-	1230 (146-2914)	-	-	-
PT (mg/L)	20-760	209 (396)	-	430 (430)	-	-	-	250	-	-	88 (1-525)	-
PH	1,5-12,6	7,2 (0,6)	8,12	7,1 (0,4)	-	-	7,6 (6,6-9,3)	-	-	7,1 (6,7-8,1)	6,5 (5-8,4)	8,28 (7,38-9,7)
Graisses	5600 (208- 2368)	2655 (5285)	-	4500 (-)	-	-	-	-	-	-	1200 (<3-15000)	

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Les paramètres biologiques portent sur la bactériologie et la parasitologie. Les paramètres bactériologiques concernent les bactéries coliformes à savoir les coliformes fécaux, les coliformes totaux, *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux. Les paramètres parasitologiques portent essentiellement sur les œufs d'helminthes. Il y a cependant peu d'études faites sur la caractérisation des paramètres biologiques.

Le tableau II présente quelques exemples de caractérisation des paramètres biologiques dans le traitement des boues de vidange.

Tableau II: Exemple de caractérisation des paramètres biologiques des boues de vidange dans quelques villes.

Auteurs	(Barro, 2012)	(Mbéguééré et al., 2009)	(Radaidah and Al-Zboon, 2011)	Al-Muzaini(2008)	Al-Muzaini (2003)
Ville	Ouagadougou	Dakar	Jordanie	Jahra	Jahra
Unité statistique	Moyenne (min-max)	Moyenne	Moyenne	Moyenne	Moyenne (min-max)
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100mL)	221900 (100-7600)				
Coliformes fécaux (UFC/100mL)	301600 (300-8200)	3,6.10 ⁸	4,6.10 ⁸	3.10 ⁸	4,62.10 ⁸ (4,4.10 ⁷ -9.10 ⁹)
Coliformes totaux (UFC/100mL)			5,6.10 ⁸	1,6.10 ⁸	4,25.10 ⁸ (2,7.10 ⁷ -1.10 ⁹)
Streptocoques fécaux (UFC/100mL)	238800 (100-7900)				
Œufs d'helminthes (œufs/l)	77 (0-568)	10			

Les boues de vidange ont donc des concentrations en germes pathogènes très variables qu'il convient de les réduire au maximum avant leur rejet dans un milieu donné. Le paragraphe suivant fait l'état de lieu des différentes technologies utilisées pour le traitement de ces sous-produits d'assainissement.

1.3- Les différents traitements appliqués aux boues de vidanges

Les boues de vidanges sont des matières extrêmement dangereuses par leur teneur en germes pathogènes pour l'homme et pour l'environnement et nécessitent de ce fait un traitement avant leur rejet dans un milieu donné. Les boues de vidange sont extrêmement concentrées et variables et ne peuvent de ce fait être considérées comme un type d'eaux usées. Etant donnée l'importante variabilité de ce fluide, la conception d'un système de traitement ne devrait pas se baser sur des caractéristiques standardisées, mais plutôt sur des données recueillies au lieu même où la station de traitement est planifiée (Montangero and Strauss, 2002).

Il existe principalement deux technologies de traitement des boues de vidange à savoir les technologies sophistiquées ou intensives et les technologies à faibles coûts ou extensives.

Les techniques intensives sont celles généralement utilisées dans les pays industrialisés dont les plus répandues sont entre autre l'aération prolongée, la digestion anaérobie, l'épaississement mécanique avec agitation, les filtres à bandes, la pasteurisation, le séchage thermique, la centrifugation et les filtres presses à vide. Ces techniques sont cependant inadaptées au contexte habituel des pays en voie de développement car elles nécessitent de fortes capacités financières et techniques tant au niveau de l'acquisition, de l'exploitation que de la maintenance (Klingel et *al.*, 2002).

Les connaissances sur les techniques extensives sont encore très limitées. Les recherches portant sur les technologies adaptées aux conditions des pays en voie de développement se sont toujours exclusivement concentrées sur le traitement des eaux usées. Il existe néanmoins dans certaines villes d'Afrique de l'Ouest (Burkina Faso, Ghana, Sénégal, Cote d'Ivoire, Mali), d'Asie du Sud-Ouest (Thaïlande, Vietnam, Népal) et d'Amérique du Nord (Argentine) des initiatives portant sur le système des traitements des boues de vidange. Ce système englobe plusieurs technologies qui sont soit utilisées différemment ou en combinaison avec d'autres. Ces technologies sont :

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

- Co-traitement des boues de vidange fraîches avec les eaux usées ou des boues d'épuration
- Digestion anaérobie avec production de gaz
- Décanteur-digesteur (réservoir d'Imhoff)
- Bassin de sédimentation-épaississement
- Etangs de sédimentation/stabilisation
- Lits de séchage
- Lits de séchage plantés

La figure 1 montre les différentes techniques à faibles coûts avec leurs combinaisons possibles.

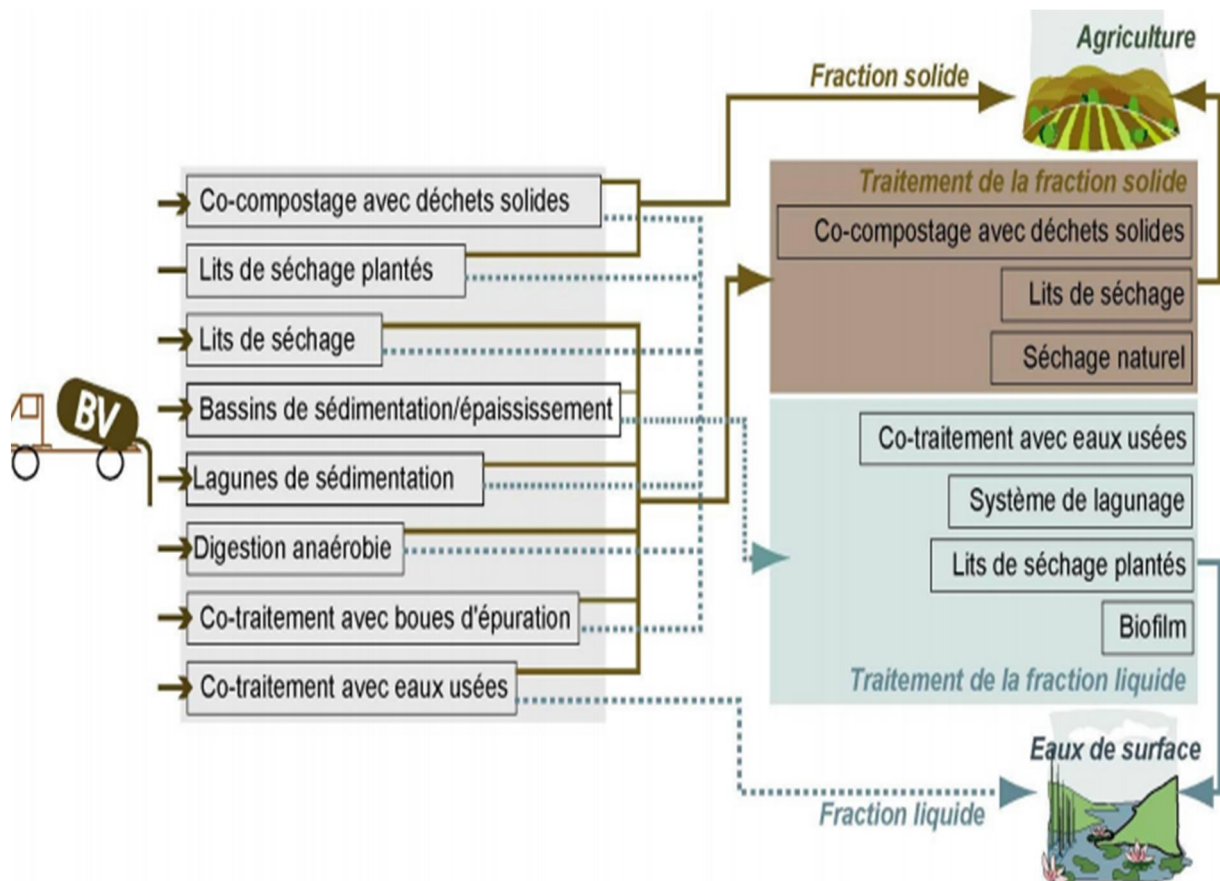


Figure 1: Vue d'ensemble des techniques de traitement à faible coût des boues de vidange et leurs combinaisons envisageables (Koanda, 2006)

Le tableau III présente la synthèse, le principe de fonctionnement, les avantages et les inconvénients de quelques technologies de traitement à faibles coûts.

Tableau III: Résumé de quelques technologies de traitement des BV à faible cout ou extensives (Klingel et *al.*, 2004).

Technologie	Principe de fonctionnement	Quand utiliser ce système ?	Avantages	Inconvénients
Bassin de sédimentation/épaississement	Ils permettent une sédimentation des matières décantables et livrent un surnageant clarifié pouvant être traité ultérieurement. Les boues accumulées au fond des bassins sont retirées de façon périodique à l'aide de conduites de soutirage.	Les bassins de sédimentation conviennent au traitement des BV partiellement stabilisées comme celles provenant de fosses septiques ou de la plupart des autres systèmes d'assainissement. Ils ne conviennent pas aux boues très fraîches issues des toilettes publiques non raccordées mais peuvent les accueillir en mélange avec des boues mieux stabilisées.	Système simple et fiable. Faible emprise au sol.	Ne convient pas au traitement des BV fraîches.
Etangs de sédimentation/stabilisation	Les étangs de sédimentation sont basés sur le même principe que les bassins de sédimentation. Les étangs sont cependant plus étendus et les solides décantés en sont retirés à intervalles plus prolongés. Etant donné leur grand volume et leur grande durée de rétention, ils offrent un bon potentiel de stabilisation pour les boues fraîches. Les solides décantés sont retirés après évacuation de la colonne de liquide et respect d'une période de séchage. Tant les liquides que les solides décantés nécessitent un traitement ultérieur	Les étangs de sédimentation/stabilisation peuvent servir au traitement primaire des BV lorsque la station dispose de suffisamment d'espace. Ce type de dispositif convient aux BV fraîches et constitue souvent la première cellule d'un système de lagunage composé d'une série de bassins de stabilisation	Dispositif rustique, bon marché et simple d'exploitation. Fournit une meilleure décantation que les bassins de sédimentation. Potentiel de stabilisation.	Forte demande en espace.
Co-traitement des boues de vidange fraîches avec des eaux usées ou des boues d'épuration	Les BV sont mélangées avec les eaux usées avant le traitement ou avec les boues d'épuration avant le traitement des boues (s'il s'agit d'une STEP à boues activées)	La seule condition est l'existence d'une station d'épuration en place ou en projet. La STEP doit avoir des capacités suffisantes pour l'accueil supplémentaire des boues de vidange.	Le Co-traitement peut s'avérer économiquement rentable. Les BV peuvent être traitées avec des techniques d'épuration fiables une fois diluées avec les eaux usées.	La valorisation agricole peut être interdite dû aux fortes charges en polluants chimiques des EU ou boues d'épuration et causée ainsi un gaspillage de la ressource BV.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

De tout ce qui précède, il existe plusieurs techniques de traitement des boues de vidange. Le choix de celle la plus appropriée dépend des caractéristiques des boues, la zone d'implantation choisie mais aussi du but final ou de l'utilisation qu'on veut faire des produits traités (boues résiduelles et percolats). Plusieurs auteurs (Vincent, 2011 ; Troesch, 2009 ; Kengne, 2006 ; Koottatep et *al.*, 2005 ; Liénard et Payrestre, 1996) ont rapportés que parmi les divers procédés de traitement des boues de vidange, les lits de séchage sont particulièrement intéressants pour les villes et collectivités où l'assainissement non collectif est prédominant et spécifiquement pour les pays en développement.

Le paragraphe suivant présente la revue de la littérature sur les lits de séchage avec leurs définitions, principes de fonctionnement et performances épuratoires.

2. Les lits de séchage

Il existe deux types de lits de séchage à savoir les lits de séchage non plantés et les lits de séchage plantés de macrophytes.

2.1 Les lits de séchage non plantés

2.1.1 Définition et principe de fonctionnement

Un lit de séchage non planté est un lit simple et perméable qui, une fois chargé avec la boue, draine la partie liquide et permet à la boue de sécher par évaporation. Approximativement, 50 à 80% du volume des boues percole comme liquide. Cependant la boue n'est pas stabilisée (Tilley et *al.*, 2008). Les boues de vidange brutes ou pré-épaissies sont chargées sur le lit et l'eau qu'elles contiennent s'évacue dans sa majorité par percolation à travers le filtre et le reste par évaporation (Klingel et *al.*, 2002). Le processus de traitement par lit de séchage est un procédé principalement axé sur la séparation des phases solides et liquides afin de réduire le volume des boues et augmenter leur concentration. Il s'agit souvent d'un traitement primaire qui nécessite d'être complété par d'autres procédés. Ce principe est basé sur la sédimentation, l'évaporation et l'infiltration (Miss, 2007). Les boues ainsi déshydratées peuvent être soit directement mises en décharge soit soumises à un traitement d'hygiénisation si une valorisation agricole est envisagée. La qualité des percolats est améliorée par la filtration mais un polissage peut être encore nécessaire.

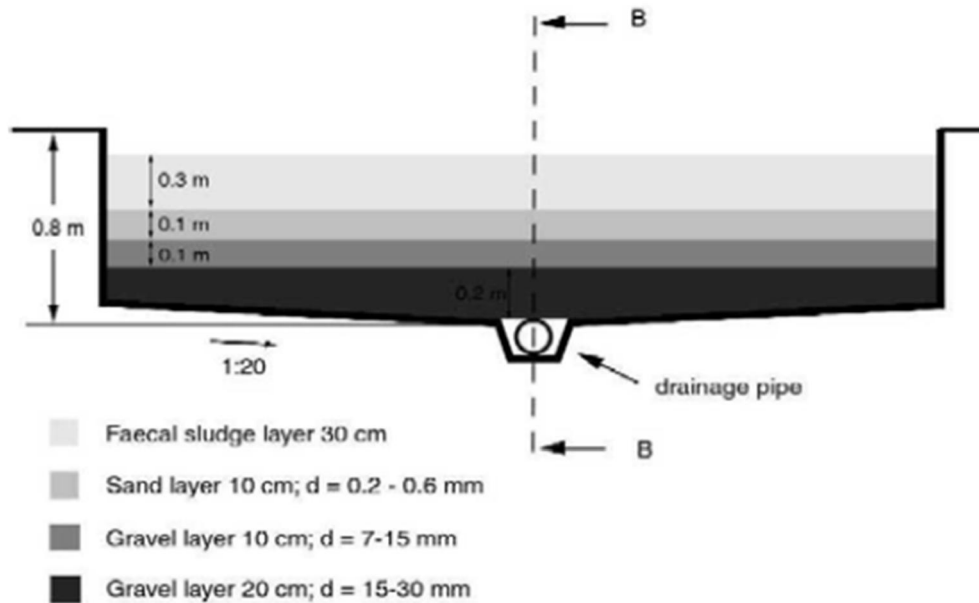


Figure 2: Principe de fonctionnement d'un lit de séchage non planté (Klingel et al, 2002)

2.1.2 Performances épuratoires des lits de séchage non plantés

Il y a également peu d'études faites sur la performance épuratoire des lits de séchage non plantés dans le traitement des paramètres microbiologiques des boues de vidange.

Une étude réalisée par Mbégué et al en 2009 à Dakar sur 3 pilotes expérimentaux avec des charges variant entre 20 et 40 cm/m² a rapporté des abattements de l'ordre de 1,25 à 1,46 ulog pour les coliformes fécaux et un rendement de 100% pour les œufs d'helminthes.

En 2011, Radaidah et al Zboon ont mené des études en Jordanie et obtenu des performances épuratoires de 99% pour les coliformes totaux et 99,9% pour les coliformes fécaux.

2.1.3 Avantages et inconvénients des lits de séchage non plantés

Cette technologie comporte aussi bien des avantages que d'inconvénients qui nécessitent d'être analysés avant son choix et sa mise en place. Parmi les avantages on peut citer :

- ✓ Une faible teneur en eau des boues séchées
- ✓ Une assez bonne qualité des percolats (par rapport au surnageant des systèmes de sédimentation)
- ✓ Une faible demande en capacités financières pour l'implantation et la gestion

Comme toute autre technologie, elle comporte également un certain nombre d'inconvénients comme :

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

- ✓ Les boues ne sont pas hygiénisées contrairement aux lits de séchages plantés (Tilley et *al.*, 2008)
- ✓ Technologie demandant de grandes surfaces (Tilley et *al.*, 2008)
- ✓ le temps de séchage peut s'étendre entre 2 à 4 semaines selon le type de matériau filtrant et le climat (Aalbers H., 1999)
- ✓ Possibilité de colmatage du massif filtrant ou de mauvaises odeurs suite à une mauvaise gestion comme le surcharge hydraulique (Miss, 2007)
- ✓ Drainage lente des boues par rapport aux lits de séchage plantés

Dans le souci d'améliorer le drainage, la déshydratation des boues et booster la performance épuratoire des lits non plantés, des plantes et précisément des macrophytes sont plantés sur le massif filtrant ; ce sont les lits de séchage plantés.

2.2 Les lits de séchage plantés

2.2.1 Définition et principe de fonctionnement

Un lit de séchage planté est un dispositif en béton ou en plastique composé d'un massif filtrant où sont repiquées les plantes marécageuses ou fourragères (semi-aquatiques) et destiné à recevoir des boues.

Le principe de séchage des boues sur les lits plantés de roseaux repose sur la mise en place d'un massif filtrant reconstitué, de granulométrie croissante de la surface vers le fond et drainé, sur lequel des boues sont disposées et dans lequel les plantes macrophytes ou marécageuses se développent (Liénard et *al.*, 2007). La composition du massif filtrant est détaillée dans le tableau IV. Les matériaux qui sont retrouvés dans la littérature sont entre autre les sables grossiers, les graviers fins ou gravillons, les graviers grossiers et les galets.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Tableau IV: Quelques exemples de la constitution du massif filtrant.

Auteur et année	Composition du massif filtrant de haut en bas	Epaisseur des matériaux
Kengne (2006)	Sable grossier	15cm
	Gravier fin	20cm
	Gravier grossier	30cm
Troesch (2009)	Sable/Compost	5-10cm
	Gravier fin (2/6mm)	20 cm
	Gravier grossier (15/25mm)	10 cm
	Galet (30/60mm)	20 cm
Liénard et al., (2008)	Compost végétal	10 cm
	Gravier 3/6mm	30 cm
	Galet 20/40mm	15 cm
Koottatep et al., (2005)	Sable fin (1mm)	10 cm
	Gravier (25 mm)	15 cm
	Galet (50mm)	40 cm
Tilley et al., (2008)	Sable de plage	30 cm
	Gravier fin (5-10mm)	15 cm
	Gros gravier (10-40mm)	5 cm

Le fonctionnement tient au fait qu'autour de chaque tige de roseaux, il existe en permanence un anneau libre pour le passage de l'eau interstitielle de la boue alors que les matières en suspension sont retenues en surface et s'accumulent progressivement. Dès lors qu'elle peut s'écouler le long des tiges, rhizomes et racines des roseaux, l'eau interstitielle va percoler au sein du massif pour être drainée à sa base et renvoyée en tête de la station (Liénard et al., 2008).

Le bon fonctionnement du procédé repose sur un développement dense des roseaux de manière à ce que l'eau puisse être évacuée en permanence et en tous points dans les lits. En été, les roseaux vont aussi accélérer la déshydratation par évapotranspiration. Dans le souci d'obtenir de bons résultats, il est nécessaire de maintenir les conditions aérobies également propices à la minéralisation de la matière organique accumulée et pour cela le massif filtrant est connecté à l'atmosphère via les cheminées d'aération. Des études (Armstrong et al. 1990 ;

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Brix et Schierup, 1990) ont montré que les roseaux (comme la plupart des végétaux aquatiques se développant dans des sols saturés) excrètent de l'oxygène au niveau de leurs racines pour absorber leurs éléments nutritifs sous une forme oxydée. Néanmoins, dans un milieu fortement chargé en matière organique fermentescible, les roseaux ne sauraient, par eux-mêmes, maintenir une présence d'oxygène suffisante pour éviter le développement de conditions anaérobies. Celles-ci créeraient alors une toxicité compromettant le développement des plantes et par voie de conséquence, la pérennité du processus de ressuyage.

Le schéma ci-dessous présente la composition des lits de séchages plantés de roseaux.

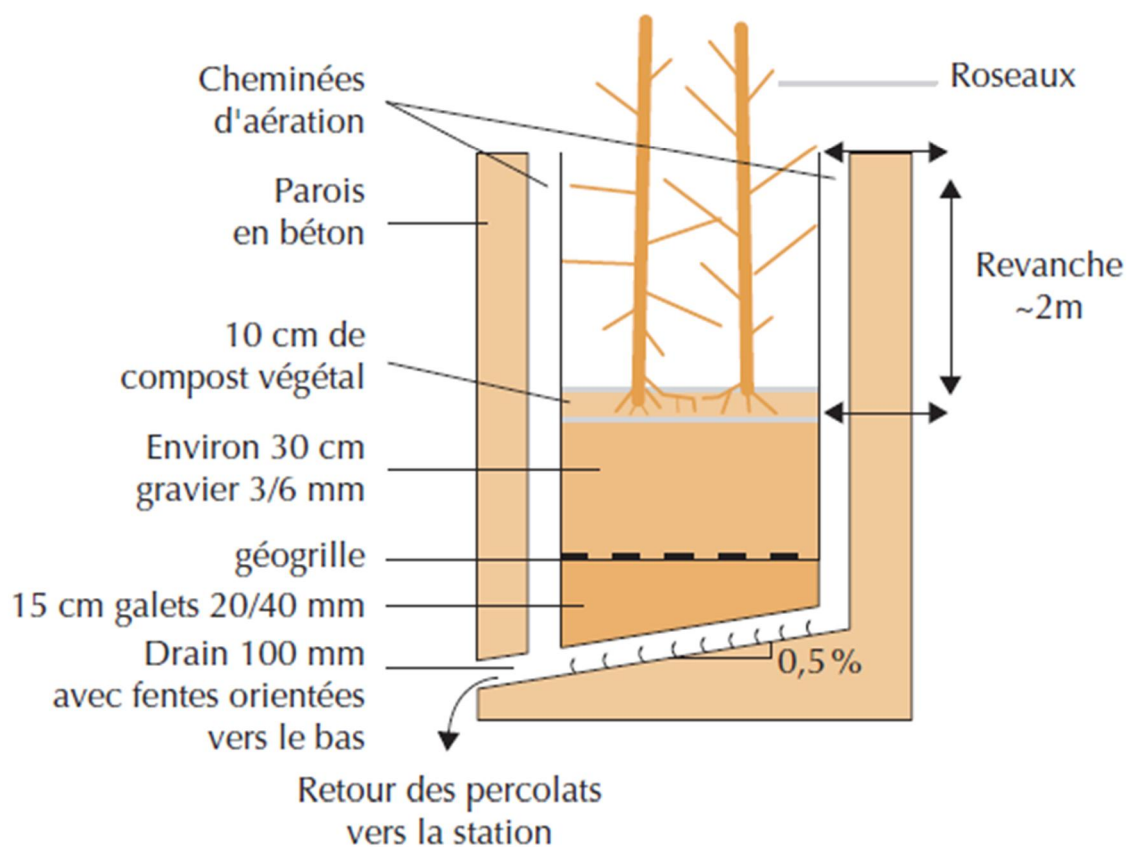


Figure 3: Composition d'un lit de séchage planté de roseaux (Liénard et al, 2008)

2.2.2 Mécanismes en jeu

Le traitement des boues par lits de séchage plantés de roseaux peut être résumé en trois processus essentiels : la filtration, la déshydratation et la minéralisation (Troesch, 2009).

❖ **La filtration**

La filtration des matières en suspension est assurée par la mise en place du massif filtrant constitué des matériaux de granulométrie adaptée pour retenir le maximum de matière organique à la surface des lits et éviter une pénétration excessive de particules au sein même du massif filtrant notamment lors des premières alimentations. Le colmatage de ce dernier nuirait au ressuyage et créerait des conditions anaérobies néfastes pour le développement des roseaux qui ne peuvent absorber les sels minéraux, nécessaire à leur croissance, que sous forme oxydée. La contribution des plantes dans ce mécanisme réside dans le fait qu'elles facilitent l'infiltration de l'eau via les espaces tubulaires créés par le mouvement des tiges au vent et par les complexes racinaires (ces espaces assurent la durabilité du système en maintenant un drainage efficace et en prévenant du colmatage). Après un certain temps d'alimentation des lits, une couche superficielle de boues résiduelles sera formée et assurera le rôle de la matrice de filtration et dont le colmatage est prévenu par la présence des racines des plantes.

❖ **La déshydratation**

Le mécanisme de la déshydratation ou encore de la perte d'eau des boues consiste principalement en la percolation de l'eau interstitielle libre contenue dans la boue qui est complétée par l'évapotranspiration et par les pertes dues à la minéralisation (Troesch, 2009). Plusieurs facteurs sont susceptibles d'impacter ces phénomènes et concernent dans un premier temps :

- La qualité du produit à traiter
- L'efficacité de son drainage conditionnée par les caractéristiques physico-chimiques du dépôt de matière organique accumulée et de sa porosité maintenue par les végétaux
- Le séchage complémentaire permis par l'évapotranspiration des roseaux.

❖ **La minéralisation**

C'est le mécanisme dans lequel les microorganismes présents dans les boues assurent la dégradation de la matière organique. La minéralisation a donc lieu par des mécanismes biologiques liés à l'activité bactérienne. C'est une étape cruciale pour la stabilisation et la réduction du dépôt de boues (Vincent, 2011).

Il est important que la minéralisation de la matière organique dans les boues soit aérobie pour permettre leur bonne dégradation par les microorganismes et également une bonne croissance

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

des plantes. Le volume de boues amené à chaque alimentation, la fréquence d'alimentation et la gestion des périodes de repos aboutissant au craquèlement superficiel de la boue, sont aussi des facteurs importants qui influent sur les cinétiques de minéralisation et le maintien de conditions aérobies propices à la croissance des roseaux. Enfin, la minéralisation, qui se traduit idéalement par des rejets d'eau, de sels minéraux dissous et de gaz carbonique, contribue à la limitation du volume de boues à extraire (de 15 à 20 %) et à l'allongement du cycle de fonctionnement avant vidange (Liénard *et al.*, 2008).

2.2.3 Gestion des lits de séchage plantés

La gestion consiste au respect d'un certain nombre de phénomènes ou paramètres qui interviennent dans le processus d'épuration. Ainsi, pour une bonne gestion des lits, il faut assurer des périodes d'alimentation et de repos des lits; ce qui implique la mise en place de plusieurs lits de séchage en parallèle (Liénard *et al.*, 2007). En effet, un apport excessif en boues de vidange sur les lits entraînera un passage en anaérobie conduisant vers un colmatage du massif filtrant, à une mauvaise déshydratation et aux mauvaises odeurs. Lorsque la hauteur de boue accumulée atteint environ 1 mètre d'épaisseur (en moyenne au bout de 5 à 8 ans, selon le nombre de lits et surtout le taux de charge de la station), les boues d'un premier lit sont curées et, en général épandues. Puis un curage alterné et régulier s'effectue sur les autres lits les années suivantes. Pour une bonne gestion, il faut également s'assurer de la bonne croissance des macrophytes dans les lits en évaluant leur état de flétrissement chaque semaine et d'une bonne aération du massif filtrant par les tuyaux d'aération.

2.2.4 Performance épuratoire des lits de séchage plantés

Les expériences de traitement des boues de vidange par les plantes sont peu connues. Les essais de traitement des boues de stations d'épuration à filtres plantés de roseaux sont pratiqués dans quelques installations en Europe et Amérique (Koné and Strauss, 2003; Koottatep *et al.*, 2004). Ces boues sont déjà partiellement stabilisées. Par ailleurs, les essais de traitement des boues de vidange par ce système sont peu documentés (Liénard et Payraastre, 1996). Pour l'heure, bon nombre de stations sont au stade expérimental en Thaïlande, Vietnam, Népal et France (Liénard and Payraastre, 1996; Hardej and Ozimek, 2002). Des stations en grandeur réelle font l'objet d'une exploitation au Danemark notamment pour le traitement des boues stabilisées provenant des petites installations de traitement des eaux usées domestiques (Nielsen, 2012).

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Il est important de souligner qu'à l'heure actuelle des recherches, il n'y a pas encore beaucoup d'études faites sur la performance épuratoire en germes pathogènes (coliformes et streptocoques) des lits de séchage plantés pour le traitement des boues. Cependant les performances présentées ci-dessous concernent beaucoup plus les paramètres physico-chimiques ; paramètres servant au dimensionnement des lits de séchage.

Le tableau V résume quelques performances de cette technologie dans le monde.

Tableau V: Quelques performances épuratoires des lits de séchage plantés de roseaux.

Pays/auteurs	Charges apportées (en kgMS/m²/an)	Performances	Macrophytes utilisés
France (Liénard and Payrastre, 1996)	70	85%MS, 75%DCO, 79%NTK, 66% N-NH ₄	<i>Phragmites australis</i>
USA (Bourgoon et al., 1996)	9,8 à 65	95%DCO, 99%MES, 90%NTK, 42% N-NH ₄	<i>Phragmites australis</i>
USA (Kim and Smith 1997)	16-106	Boues résiduelle après 4 ans (71cm : 46-49%MVS, 15-47%MS)	<i>Phragmites australis</i>
Pologne (Obarska- pempkowiak, 2003)	-	Boues résiduelles après 6 ans : 94,6% du volume de réduction, 43-75% teneur en humidité.	<i>Phragmites australis</i>
Thaïlande (Koottatep et al., 2005)	250	74-86%MS, 96-99%SS, 78-99% DCO, 70- 99%NTK, 50-99% NH ₃ , teneur en eau des boues déshydratées après 4 ans : 20-25%, <6 œufs d'helminthes viables /gMS	<i>Typha augustifolia</i>
Cameroun (Kengne et al., 2006)	100-300	78%N-NH ₄ , 88%MS, 92%MES, 98%DCO	<i>Echinocloa pyramidalis</i> et <i>Cyperus papyrus</i>
Sénégal (Abiola, 2009)	13-283	97%MS, 99%MES, 100%MVS, 99%DCO, 91%N-NH ₄ , 97%PO ₄ ³⁻	<i>Echinocloa pyramidalis</i>
Thaïlande (Ministère de la science, technologie et environnement 2004)	125-250	99,8% de Coliformes Fécaux 100% des œufs d'helminthes	

--	--	--	--

2.2.5 Avantages et inconvénients des lits de séchage plantés

Un certain nombre d'avantages militent en faveur du choix de cette éco technologie pour les PED qui souffrent d'un manque de capital et d'une main d'œuvre qualifiée (Tsama Njitat, 2006). Parmi ces avantages, on peut citer :

- ❖ Une bonne adaptation pour les petites collectivités
- ❖ Une bonne intégration paysagère
- ❖ Une atténuation des odeurs
- ❖ Une importante élimination de l'azote par nitrification
- ❖ Une absence de gestion contraignante des boues primaires
- ❖ Un maintien de la perméabilité par les roseaux
- ❖ Une bonne qualité de l'eau traitée par rapport au système de lagunage
- ❖ Bonne adaptation au fonctionnement estival saisonnier dans les zones tempérées

Parmi les inconvénients de cette technologie on peut citer :

- ❖ La régularité de l'alternance de l'alimentation
- ❖ Le risque de présence des rongeurs et des reptiles
- ❖ Les couts d'installation plus élevés que ceux du lagunage.

III. PRESENTATION DE LA GESTION DES BOUES DE VIDANGE A OUAGADOUGOU

Le site de notre étude est la ville de Ouagadougou au Burkina Faso.

1. Présentation de la ville de Ouagadougou

1.1 Le milieu physique

1.1.1 Localisation

La ville de Ouagadougou est située au milieu de la province de Kadiogo entre les coordonnées géographiques 1°28 à 1°36 de longitude Ouest et 12°20 à 12°26 de latitude Nord. Il est le chef-lieu de la Région du Centre et en même temps la capitale du Burkina Faso. Ouagadougou est limité à l'Est par la commune de Saaba, à l'Ouest par la commune de Tanghin-Dassouri, au Nord par les communes rurales de Pabré et Loumbila et enfin au Sud par celles de Koubri et Komsilga.

1.1.2 Climat, relief et hydrographie

Le climat est du type soudano-sahélien avec une pluviométrie moyenne annuelle de 700mm. Ouagadougou est soumise à 2 saisons à savoir la saison sèche et la saison pluvieuse. La saison sèche commence d'octobre et prend fin en avril tandis que la saison pluvieuse commence au mois de mai pour s'arrêter en septembre. La période de Décembre à Février est la plus fraîche en terme de température et la période de Mars à Juin est la plus chaude. La ville est animée par 2 vents dominants à savoir l'harmattan et la mousson. L'harmattan souffle du Nord-Est au Sud-Ouest et l'influence est prépondérante de Novembre à Avril. La mousson souffle du Sud-Ouest au Nord-Est et l'influence est dominante entre Mai et Septembre.

Ouagadougou est située sur la vaste pénéplaine centrale du Burkina Faso, fait partie du plateau Mossi et se caractérise par un ensemble de terrains plats qui s'échelonnent en pentes douces du Sud vers le Nord. La nappe aquifère se trouve à une profondeur moyenne de 30m, excepté la zone centrale où elle est parfois à moins d'un mètre de profondeur après la saison pluvieuse (Proust, 2001).

La capitale du Burkina Faso est située dans le bassin versant du Massili, affluent du Nakambé. Elle est traversée par 4 marigots du Sud vers le Nord : le marigot central ou de Paspanga, le marigot de Zogona aménagé en canal, le marigot de Mooro Naaba ou de Kadiogo dont un tronçon seulement est aménagé en canal et enfin le marigot de Wemtenga ou de Dassago. Ouagadougou compte 4 barrages intra-urbains dont 3 participaient à l'alimentation en eau

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

potable via les installations de traitement et de distribution de l'ONEA. Actuellement l'alimentation en eau potable est assurée par les barrages de Loumbila et Ziga située respectivement à 20 km au Nord et 50 km à l'Est de la ville.

1.1.3 Hydrogéologie et sols

Les réserves hydrogéologiques de la ville sont exclusivement constituées d'aquifères cristallins. Elles sont composées généralement de 3 systèmes superposés qui sont du plus profond au plus superficiel : les aquifères à milieu fissuré, les aquifères de la zone altérée et les aquifères des latérites. Le niveau de la nappe phréatique se situerait entre 5 à 10m pendant la saison sèche et 1 à 3 m la saison pluvieuse. Ouagadougou repose sur des sols peu profonds, pauvres en éléments nutritifs et sont caractérisés par une faible capacité d'infiltration et de conservation d'eau. On en distingue 4 (Etude diagnostique de l'agglomération de Ouagadougou, Mai 2007) à savoir : les sols ferrugineux lessivés, les sols minéraux bruts, les sols hydromorphes et les sols halomorphes.

1.2 Le milieu humain et social

1.2.1 Population

La population de la ville de Ouagadougou est estimée à 1 475 223 habitants en 2006 (RGPH 2006). La ville couvre une superficie de 518 km² (Profil des régions du Burkina Faso, 2005) et a une densité de 2 847,9 habitants/km². Selon les arrondissements, on note une disparité de densité. En effet la plus forte densité est notée dans l'arrondissement de Baskuy (5 933,1 habitants/km²) et la plus faible est observée dans l'arrondissement de Sig-Noghin avec 1 364,4 habitant/km²). Le tableau VI présente les arrondissements de Ouagadougou avec leurs nombres d'habitants, superficies et densités.

Tableau VI: Présentation des densités de la population des arrondissements de Ouagadougou. (RGPH, 2006)

Arrondissement	Population (habitants)	Superficie (km ²)	Densité (hab. /km ²)
Baskuy	195 793	33	5 933,1
Bogodogo	426 185	105	4 058,9
Boulmiougou	449 519	110	4 086,5
Nongremassom	220 891	136	1 624,2
Sig-Noghin	182 835	134	1 364,4
Total	1 475 223	518	2 847,9

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

La ville a un fort taux de croissance annuelle : entre 4,2% et 6,4% par an entre 1996 et 2010. En 2010 la population est estimée à 1 840 463 habitants et les perspectives d'évolution de la démographie de la ville annoncent une population se situant autour de 2 140 920 habitants en 2015 et 2 973 302 habitants en 2020.

1.2.2 Cadre institutionnel et réglementaire

A l'heure actuelle, il n'existe pas encore une réglementation spécifique en matière de gestion des boues de vidange mais à défaut des textes spécifiques pour les boues de vidange, les textes relatifs aux eaux usées et excréta peuvent servir de guide.

Le décret 2001-185 fixe les normes de déversement des eaux usées dans les eaux de surface et dans les égouts. Ce décret ne fixe pas les normes pour le rejet ou la réutilisation des eaux usées dans l'agriculture en fonction des cultures à irriguer donc il serait mieux de compléter ces valeurs avec celles recommandées par l'OMS pour ce cas de figure. Ces recommandations sont présentées dans le tableau VII ci-dessous.

Tableau VII: Qualité recommandée pour la réutilisation des eaux usées traitées (OMS 2006)

	Technique de réutilisation	Œufs d'helminthes (Œufs/litre)	Coliformes fécaux (UFC/100mL)
A	Irrigation restrictive (arbres, plantes industrielles, cultures fourragère, pâturage). L'irrigation des arbres fruitiers avec les eaux traitées doit cesser deux semaines avant la cueillette, et les fruits tombés ne doivent pas être récoltés.	≤ 1	Sans objet
B	Irrigation non restrictive (plantes comestibles, terrain de sport, parcs publics)	≤ 1	≤ 1000

Ainsi, la concentration limite de coliformes fécaux considérée par l'OMS (1000UFC/100mL) pour la réutilisation non-restrictive est plus sévère que celle fixée par le décret 2001-185 pour le rejet en eau de surface (2000UFC/100mL).

1.3 Gestion des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou

1.3.1 Accès à l'assainissement

Au Burkina Faso, la couverture en assainissement au niveau national était encore de 29% en 2005 (TEARFUND, 2007). C'est alors que le pays à travers le PN AEPA vise à augmenter de

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

43% d'ici 2015 le taux d'accès à l'assainissement en milieu urbain par la mise en place des latrines et fosses septiques. En 2009, plus de 95% de la population de Ouagadougou avait recours à des ouvrages d'assainissement autonome pour la gestion des eaux et excréta (Bassan et al, 2010). Cela montre que l'assainissement autonome est la forme d'assainissement la plus utilisée dans la ville. Les réseaux d'égout ne s'observent que dans les grandes artères de la ville. Une enquête menée par l'ONEA en 2012 auprès des ménages a révélé qu'à Ouagadougou dans la zone urbaine, le type d'ouvrage d'assainissement dominant pour les excréta est la latrine traditionnelle suivi de la latrine VIP. Les fosses septiques représentent un tiers des latrines traditionnelles.

1.3.2 La Production des boues ou gisement

Les boues de vidange de la ville de Ouagadougou proviennent des ouvrages d'assainissement autonome à savoir les latrines et les fosses septiques. Ces ouvrages sont vidangés après une certaine période d'utilisation. Les boues enlevées sont soit acheminées vers les sites de dépotage, vers les champs ou même déposées à côté des habitations.

1.3.3 La vidange des ouvrages d'assainissement

Deux types de vidange existent dans la ville de Ouagadougou : la vidange manuelle et la vidange mécanique (Dembélé et al, 2003). La vidange mécanique est la plus répandue néanmoins 1 sur 4 ménages pratiquent la vidange manuelle (ONEA rapport APS, 2012). Les ménages à revenus moyens et élevés ou ayant des installations modernes (fosses septiques) font souvent appel à la vidange mécanique. Le choix de la vidange mécanique par ceux qui la pratiquent est justifié par la qualité du service (rapidité, large couverture géographique et déversement hors de la ville). Les camions vidangeurs de la ville de Ouagadougou ont une capacité comprise entre 5 m³ et 16 m³ et la vidange d'une fosse coûte entre 8000 FCFA et 16000 FCFA. La vidange manuelle est beaucoup plus sollicitée par les ménages aux faibles revenus et les raisons invoquées sont, entre autres, le manque de moyens pour solliciter une vidange mécanique et les caractéristiques de l'ouvrage.

1.3.4 Le transport et rejet

Le transport des boues de vidange est assuré par les vidangeurs munis de leurs camions-vidangeurs qui viennent extraire les boues de vidange des ouvrages d'assainissement des ménages et lieux publics. Pour la vidange manuelle, une bonne partie des boues (89%) est déversée à proximité immédiate des habitations. Il y a aussi d'autres lieux de rejet comme les espaces vides, l'intérieur des cours et les abords des marigots. Les boues de la vidange

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

mécanique sont déversées à la périphérie de la ville, notamment dans les champs. Il existe au total plus de 40 sites de dépotage repartis sur toute la périphérie de la ville mais beaucoup ne sont pas permanents (Bassan et *al*, 2006). Plusieurs type de sites où sont déversés les boues sont distingués parmi lesquels on peut citer les champs de culture, les zones d'emprunt et les terrains vides.

1.3.5 Traitement

A l'heure actuelle, il n'existe pas encore un site de traitement de boues de vidange dans la ville de Ouagadougou. Toutefois des essais sur des pilotes expérimentaux sont réalisés et donnent des résultats satisfaisants. Il existe une station de traitement des boues à Kossodo (lits de séchage non plantés) mais elle ne prend en compte que les boues issues de la STEP.

1.3.6 Qualité des boues

Plusieurs études ont porté sur la détermination des caractéristiques physico-chimiques des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou mais beaucoup moins sur les caractéristiques sanitaires. Seuls les paramètres bactériologiques et parasitologiques (œufs d'helminthes) sont pris en compte dans le cadre de cette étude. Le tableau VIII présente un exemple de caractérisation bactériologique et parasitologique des BV de la ville de Ouagadougou.

Tableau VIII: Exemple d'une qualité biologique des BV de la ville de Ouagadougou (Barro, 2012)

Indicateurs	Nombre d'échantillon	Moyenne	Minimum	Maximum	Ecart type
Coliformes fécaux (UFC/ml)	34	2219	100	7600	1796
E. coli (UFC/ml)	34	3016	300	8200	2037
Streptocoques fécaux (UFC/ml)	34	2388	100	7900	2177
Œufs d'helminthes (œufs/l)	16	77	0	568	141

1.3.7 Risques liés à la gestion actuelle des BV

Il y a plusieurs risques liés à la gestion actuelle des BV à Ouagadougou.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

La plupart des installations d'assainissement, excepté les fosses septiques, si elles sont bien construites, ne sont pas étanches et leur utilisation extensive peut entraîner une pollution en germes pathogènes de la nappe phréatique et causer de graves problèmes de santé.

Les vidangeurs manuelles sont en contact étroit avec les boues sans protection et s'exposent donc aux risques d'infection et d'éboulement de terrains. Les vidangeurs mécaniques sont exposés aux risques de contamination pendant la vidange et leur déversement. Lors de la vidange, les raccords d'aspiration sont manipulés à la main sans protections particulières. Pendant le déversement, les opérateurs, par la manipulation de la vanne d'évacuation et en marchant dans la boue sans chaussures adéquates s'exposent surtout quand ils présentent des blessures superficielles, aux maladies causées par les germes pathogènes présents dans les excréta.

Dans les sites de déversement, le déversement direct des matières de vidange fraîches sur le sol provoque une surcharge du sol en polluants surtout organiques, le dégagement de mauvaises odeurs, un impact visuel et l'attraction des charognards (CREPA, 2004). Pour les boues déversées dans les champs pour l'agriculture, le risque est aussi imminent. On note la présence de germes comme les coliformes fécaux, les œufs d'helminthes, les larves d'anguillule et d'ankylostome dans les boues de vidange. Ces germes peuvent se retrouver sur les feuilles de certaines cultures de légumes consommables crues.

1.3.8 Intérêt de l'étude

La présente étude consistant au traitement des paramètres sanitaires des BV par lits de séchage pourra permettre de réduire considérablement la concentration de ces germes pathogènes dans les boues avant leur rejet dans la nature sans un risque quelconque. Des essais sur des pilotes expérimentaux dans d'autres pays dont le climat est proche du Burkina Faso (Sénégal et Cameroun) ont été réalisés avec des résultats satisfaisants. Les boues traitées peuvent même être réutilisées dans l'agriculture en fonction de leurs concentrations et les normes en vigueur.

IV- MATERIELS ET METHODES

A travers ce chapitre, nous montrons les outils et les méthodes qui ont été utilisés pour atteindre les objectifs que nous nous sommes fixés au départ. Une revue de la littérature sur le traitement des boues de vidange par lits de séchages a été faite au début de l'étude pour permettre la compréhension du sujet et la comparaison des résultats obtenus avec ceux de la littérature. Ensuite les activités menées pour les expérimentations sont détaillées. Ces activités sont : approvisionnement des boues, prélèvement d'un échantillon de boues brutes et analyse de MES, alimentation des lits, prélèvement des échantillons des boues brutes et percolats, analyse des échantillons et traitement des données.

1. Présentation du dispositif expérimental

Avant toute chose, il est important de présenter le dispositif expérimental qui a servi de base pour les prélèvements et des analyses au laboratoire.

Le dispositif expérimental est constitué de 6 pilotes dont 3 pour les lits de séchage non plantés (**E1, E2 et E3**) et 3 autres pour les lits de séchage plantés (**E4, E5 et E6**). L'espèce utilisée pour les lits plantés est le *Cypérus alopecuroides*. Chaque pilote est constitué d' :

- une cuve en plastique d'une surface de 1,2 m² renfermant le massif filtrant
- un dispositif d'aération composé de deux canalisations de diamètre 100 mm en PVC découpées dans la génératrice inférieure de fentes de 20 mm de large espacées de 50 mm. Ces deux canalisations sont espacées de 30 cm et reliées par deux cheminées de différentes hauteurs, l'une étant plus haute de 0,5 m. Il est disposé dans la diagonale de la cuve.
- un fût en plastique de 260 litres servant à recueillir le percolât.

Le massif filtrant est constitué de matériaux de granulométrie croissante du haut vers le bas :

- une couche filtrante de 20 cm d'épaisseur de sable 0/5 de coefficient d'uniformité CU=2,53 assurant une filtration des boues
- une couche intermédiaire de 20 cm de gravier fin 1,25/20mm
- une couche drainante de 20 cm de gravier grossier de diamètre 3,15/31,5mm

L'ensemble des pilotes est soutenu par une palette en bois constituée de planches superposées les unes aux autres.

Des bidons en PEHD d'une capacité totale de 5,5 m³ servent de réservoir pour le stockage des boues avant leur utilisation.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou



Photo 1: Vue d'ensemble des pilotes expérimentaux dont 3 lits plantés et 3 lits non plantés.

2. Approvisionnement des boues

L'approvisionnement en BV est faite par contact des vidangeurs de la ville de Ouagadougou à la veille de l'alimentation des lits de séchage. Les vidangeurs apportent les boues dans l'enceinte de 2IE à Ouagadougou et plus précisément au niveau des pilotes dans la STEP. Les boues sont fournies par plusieurs sociétés de vidange de Ouagadougou mais la plus fréquente est la société WEMTING-VIDANGE. Des conteneurs d'une capacité totale de 5,5 m³ sont prévus à cet effet pour la réception des boues. Lors de la réception, la nature de l'ouvrage, le quartier, le nombre d'ouvrages vidangés et une appréciation visuelle de la consistance des boues sont faits. Des équipements de protection individuelle tels que les gants, les masques (cache-nez), chaussures fermées, casquettes, blouses sont prévus à cet effet.



Photo 2: Approvisionnement des boues par WEMTING-VIDANGE et les cuves de stockage.

3. Détermination de la concentration des matières en suspension (MES)

Après l'approvisionnement des boues, un échantillon représentatif des boues (échantillon issu du mélange des boues prélevées dans chaque conteneur) est prélevé dans un flacon en plastique puis apporté au laboratoire pour l'analyse de la concentration en MES. La détermination de la concentration de MES se fait par le pesage du filtre GFC sec et du filtre GFC humide (ayant servi à filtrer l'échantillon) incubé à 105°C dans l'étuve. La concentration s'obtient alors par la formule suivante :

$$C = \frac{M1 - M0}{V} * 100$$

Avec M₁ : masse du filtre humide

M₀ : masse du filtre sec

V : volume de l'échantillon filtré

4. Alimentation des lits

En fonction de la concentration en MES de l'échantillon de boues prélevées, la charge surfacique annuelle, le temps de repos et la surface des lits, les volumes de boues à apporter sur les lits sont déterminés. Dans le cadre de notre stage, la charge surfacique retenue est **20kgMES/m²/an** et cette valeur est choisie du fait des premiers résultats sur ce dispositif (Tadjouwa 2013). La surface des cuves constituant les lits est de 1,2m². Le temps de repos des lits varie en fonction des pilotes ; ainsi :

- ✓ Les lits E1 et E4 ont chacun 9 jours de repos
- ✓ Les lits E2 et E5 ont chacun 6 jours de repos
- ✓ Les lits E3 et E6 ont également chacun 3 jours de repos.

Après la détermination des volumes de boues à apporter sur les lits, il est alors question de l'alimentation proprement dite. Deux lits (dont l'un planté et l'autre non planté) reçoivent le même volume de boues. Ainsi, (E1-E4), (E2-E5) et (E3-E6) reçoivent un volume identique de boues et en fonction de leurs temps de repos respectifs.

Avant l'alimentation, les boues stockées dans les conteneurs sont d'abord bien homogénéisées. Les seaux en plastique de 15 litres gradués sont utilisés pour l'apport des boues sur les lits (photo ci-dessous).

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

L'alimentation des lits se fait chaque trois (3) jour soit deux fois (de fois 3) dans la semaine ; ce qui revient à dire que les lits E3 et E6 sont alimentés à chaque alimentation, les lits E2 et E5 chaque 6 jours et les lits E1 et E4 chaque 9 jours.



Photo 3: Séance d'alimentation des lits de séchage.

5. Prélèvement des échantillons

Au cours de l'alimentation, des échantillons de boues brutes et de percolats sont prélevés. A chaque alimentation, 2 échantillons de boues brutes sont prélevés dont un échantillon pour les lits non plantés (BVNP) et un échantillon pour les lits plantés (BVP). Les percolats issus de chaque lits de séchage alimenté sont également prélevés. Les échantillons sont prélevés dans les flacons en verre de 500ml lavés au savon et stérilisés au préalable pour les analyses bactériologiques (Coliformes Fécaux et Streptocoques Fécaux). Pour l'analyse parasitologique (œufs d'helminthes), les flacons en plastiques de 1l lavés au savon et séchés sont utilisés.

Dans le souci d'avoir des échantillons représentatifs des boues brutes et des percolats, le prélèvement des échantillons se fait de manière séquentielle : un volume au début de l'alimentation, un autre au milieu et un dernier à la fin.

Les échantillons prélevés sont gardés au frais dans une glacière munie d'accumulateurs de froids et transportés immédiatement au laboratoire où ils sont stockés dans le réfrigérateur en attendant les analyses au laboratoire.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou



Photo 4: Prélèvement de boues brutes (à gauche) et des percolats (à droite).

6. Analyse des échantillons de boues brutes et des percolats

Les analyses se déroulent au sein du laboratoire de microbiologie de 2IE et dans les 24 heures qui suivent l'heure du prélèvement des échantillons. Selon qu'il s'agit des échantillons de boues brutes ou des percolats, la méthode d'analyse est la même. Les deux principales analyses réalisées au cours de ces travaux sont les analyses bactériologiques et les analyses parasitologiques.

6.1 L'analyse bactériologique

Les échantillons pour l'analyse bactériologique ont été prélevés dans des flacons en verre de 500ml. L'analyse bactériologique a porté sur la détermination des concentrations des Coliformes Fécaux et les Streptocoques Fécaux dans les boues brutes et les percolats. La technique d'évaluation de la concentration des bactéries utilisée a été le dénombrement des colonies des germes après leur ensemencement dans les milieux de culture appropriés. La technique d'ensemencement retenue est l'ensemencement en profondeur ou dans la masse. Cette technique consiste à prélever 1 ml de l'échantillon, le déposer dans une boîte de pétri ensuite couler le milieu de culture préparé et refroidi dessus et homogénéiser lentement (voir annexe 1). Après 10 à 15 minutes à l'air libre, les boîtes pour les coliformes fécaux sont incubées dans l'incubateur à 44°C et celles pour les streptocoques fécaux sont incubées à 37°C. La lecture est faite au bout de 24 heures pour les Coliformes fécaux et 48 heures pour les streptocoques fécaux. Le milieu Chromocult Agar est utilisé pour les coliformes et le milieu SLANETZ et BARTHLEY pour les entérocoques. La méthode est résumée dans le tableau IX ci-dessous.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Tableau IX: Méthode d'analyse bactériologique des échantillons

Germe	Mode d'ensemencement	Milieu de culture	Température d'incubation	Durée d'incubation	Colonies caractéristiques
Coliformes fécaux	Ensemencement en profondeur	Chromocult agar	44°C	24 heures	Bleues, bleues violacées, roses
Streptocoques fécaux	Ensemencement en profondeur	Slanetz et Barthley	37°C	48 heures	blanches

6.2 Détermination des œufs d'helminthes dans les boues brutes et les percolats

L'analyse parasitologique consiste en la détermination des œufs d'helminthes dans les boues brutes et dans les percolats. Les échantillons sont prélevés dans des flacons en plastique de 1 litre de volume.

La technique utilisée pour la détermination de la concentration des œufs dans un litre est la méthode de Bailenger modifiée (OMS, 1997) (voir annexe2). Cette méthode est choisie car elle assure une bonne concentration pour toutes les espèces habituelles dans les boues de vidange et n'exige que des réactifs relativement bon marché. Les analyses se déroulent dans les 24 heures qui suivent le prélèvement au laboratoire de microbiologie du 2IE et dans l'unité de la parasitologie. Tous les œufs d'helminthes ont été recherchés. Toutefois nous avons porté une attention particulière aux kystes d'amibes (*Entamoeba histolytica*), aux œufs d'ascaris (*Ascaris lombricoïdes*), oxyure, trichocéphale (*Trichuris trichura*), Schistosomes (*Schistosoma mansoni*) qui sont les œufs généralement à l'origine des helminthiases au Burkina Faso (Annuaire Statistique 2012).

7. Détermination des performances épuratoires des lits (rendement et abattement)

En fonction des concentrations en germes et parasites obtenues à l'entrée (boues brutes) et à la sortie (percolats) de chaque lit expérimental, les rendements épuratoires et les abattements de chaque pilote ont été évalués. Pour chaque lit, une évaluation du volume apporté sur le lit et du volume total du percolât recueilli à la sortie a été faite à chaque alimentation. Le volume du percolât a été évalué à chaque alimentation.

Les rendements épuratoires sont alors obtenus par la formule suivante :

$$R = \frac{\sum(Cb * Vb) - \sum(Cp * Vp)}{\sum(Cb * Vb)} * 100$$

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

L'abattement en bactéries coliformes et en streptocoques pour les boues brutes et les percolats pour chaque lit sera déterminé par l'expression suivante :

$$A = \text{Log} \left(\frac{\sum Cb * Vb}{\sum Cp * Vp} \right)$$

Avec :

Cb : concentration des germes dans les boues brutes (à l'entrée des lits) en UFC/100ml

Vb : volume des boues brutes apporté sur les lits en Litres

Cp : concentration des germes dans les percolats (à la sortie des lits) en UFC/100ml

Vp : volume du percolât recueilli à la sortie des lits en Litres.

V. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Alimentation des lits de séchage

Il a été réalisé au total lors de l'étude 22 alimentations dont 22 pour les lits de 3 jours (E3 et E6), 11 pour les lits de 6 jours (E2 et E5) et 8 pour les lits de 9 jours (E1 et E4). Le tableau X présente les lits de séchage avec les volumes de boues apportés, les volumes percolés et le nombre d'alimentations.

Tableau X: Données des lits de séchage

Lits	Nombre alimentations	Total volume boues brutes apporté (en litres)	Total volume de boues percolé (en litre)
E1	8	2328	1968,2
E2	11	2868	2073,1
E3	22	3048	2561
E4	8	2328	1714,5
E5	11	2712	1748,6
E6	22	2856	2326

Au total 8244 litres de boues brutes ont été apportées sur les lits non plantés et 7896 litres sur les lits plantés. Le lit E3 est le lit qui a reçu le plus de boues (3048 litres) et les lits E1 et E4 sont ceux qui en ont reçu le moins (2328 litres).

2. Caractéristiques biologiques des boues brutes

2.1- Paramètres bactériologiques

Le tableau XI présente les caractéristiques bactériologiques des boues brutes.

Tableau XI: Caractéristiques bactériologiques des boues brutes.

Paramètres	Nombre d'échantillons analysés	Moyenne (UFC/100ml)	Minimum (UFC/100ml)	Maximum (UFC/100ml)	Ecart-type
Coliformes fécaux	44	$1,15.10^5$	0	$1,3.10^6$	312514
Streptocoques fécaux	44	$1,2.10^6$	$1,8.10^4$	$3,6.10^6$	1137712

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

On observe des concentrations moyennes de coliformes fécaux de $1,15.10^5$ UFC/100ml avec un écart-type de $3,13.10^5$ UFC/100ml et des valeurs minimales et maximales de 0 et $1,3.10^6$ UFC/100ml respectivement. Les streptocoques fécaux sont les bactéries dont les concentrations sont les plus importantes dans les boues analysées. Ils ont une concentration moyenne de $1,2.10^6$ UFC/100ml, un écart-type de $1,1.10^6$ UFC/100ml et des concentrations minimales et maximales de $1,8.10^4$ UFC/100ml et $3,6.10^6$ UFC/100ml. Cela pourrait être dû au fait qu'ils ont une résistance à la dessiccation qui leur permet de survivre longtemps dans le milieu extérieur (OMS, 2000). Les valeurs minimales 0 observées avec les coliformes sont probablement dues à la durée de stockage des boues (de 3 à 7 jours) l'expérimentation. Comme nous le verrons au paragraphe VI.1 la concentration des bactéries dans les boues diminue avec la durée. Le tableau XII compare les résultats obtenus avec celles de la littérature.

Tableau XII: Comparaison de concentrations de bactéries obtenues avec celles de la littérature.

Paramètres	Cette étude 2014 Ouagadougou	(Barro, 2012) Ouagadougou	Al-Muzaini (2008) Jahra	Radaidah and Al- Zboon(2011) Jordanie
Coliformes fécaux (UFC/100ml)	$1,15.10^5$	$3,01.10^5$	$4,62.10^8$	$4,6.10^8$
Streptocoques fécaux (UFC/100ml)	$1,2.10^6$	$2,2.10^6$		

Les concentrations de coliformes fécaux et streptocoques fécaux des boues brutes analysées sont sensiblement égales à celles obtenues par Barro (2012). Cette légère infériorité peut s'expliquer par le fait que les boues de vidange sont stockées quelques jours avant l'utilisation alors que pour les études de Barro elles sont prélevées directement dans les camion-vidangeurs. La durée de stockage favorise alors la diminution de la concentration des bactéries. Les concentrations obtenues sont également inférieures à celles rapportées par Al-Muzaini (2008) à Jahra et Radaidah and Al-Zboon (2011) en Jordanie. Cela peut s'expliquer par le fait que les caractéristiques des boues de vidange varient considérablement d'un pays à un autre.

2.2- Paramètres parasitologiques

Le tableau XII présente les caractéristiques parasitologiques des boues de vidange brutes.

Tableau XIII: Caractéristiques des paramètres parasitologiques des boues brutes

Œufs	Nombre d'échantillons analysés	Total (œufs/kystes)	Concentration moyenne (œuf/l)	Minimum (œufs/l)	Maximum (œufs/l)
Boues brutes	22	2921141 (œufs)	372	0	1018
<i>Ascaris lombricoïdes</i>	22	2434284 (œufs)	310	0	600
<i>Trichuris trichura</i>	22	97371 (œufs)	12	0	50
<i>Ancylostoma duodenale</i>	22	389485 (œufs)	50	0	112
<i>Entamoeba histolytica</i>	22	324571 (kystes)	41 (kystes/l)	0 (kystes/l)	80 (kystes/l)

A l'issue des analyses, les œufs rencontrés sont : Œufs d'ascaris (*Ascaris lombricoïdes*), Ankylostome (*Ankylostoma duodenale*), Trichocéphale (*Trichuris trichura*) et kystes d'amibe (*Entamoeba histolytica*). Les plus souvent rencontrés sont les œufs d'Ascaris. On retrouve fréquemment un grand nombre de larves d'anguillule (*Strongiloides stercoralis*) dans les échantillons. Ces larves sont retrouvées soit mortes soit vivantes (voir annexes3). Au total **2921141 œufs** d'helminthes ont été observés dans **7848 litres de boues brutes** avec une moyenne de **372 œufs/l** dont **2434284 œufs d'ascaris** avec une moyenne de **310 œufs/l**. **97371 œufs de trichocéphales** ont été observés avec une moyenne de **12 œufs/l**, **389485 œufs** d'Ankylostome avec une moyenne de 50 œufs/l. Aussi **324571 kystes d'amibes** ont été observés dans **7848 litres de boues** avec une concentration de **41 kystes/l**.

La concentration moyenne de tous les œufs dans les boues (372 œufs/l) est nettement supérieure aux valeurs obtenues par Barro (2012) (77 œufs/litre) et Sonko et *al.* (2009) (10 œufs/litre). Cela pourrait s'expliquer par le fait que nous sommes encore au début de nos expérimentations et que les couches de boues résiduelles formées sur les lits ne sont pas encore assez épaisses pour une bonne rétention des œufs à la surface. Les œufs d'ascaris sont les plus retrouvés dans les boues brutes probablement à cause de leur résistance et leur durée de vie plus longue que les autres dans le milieu extérieur (3 ans environs). Les œufs des autres espèces sont moins présentes dans les boues à cause de leur faible persistance dans le milieu extérieur (15 jours à 6 mois environ) (Kengne, 2006). En effet, la proportion de boues fraîches

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

étant moins importante que les boues ayant plus de 6 mois dans les latrines et les fosses septiques, leur proportion dans les boues vidangées par les camions serait également moins importante.

3. Caractéristiques biologiques des percolats

3.1- Paramètres bactériologiques

Les percolats sont les « jus » des boues de vidange récupérés à la sortie des lits de séchage. Comparativement aux boues brutes, ils sont moins chargés en matières en suspension. Autrement dit, ce sont les boues de vidange ayant subies un traitement de filtration. Les valeurs moyennes des bactéries dans le percolât obtenues sont présentées en fonction de chaque lit de séchage dans le tableau XIV ci-après.

Tableau XIV: Caractéristiques bactériologiques des percolats

Lits	Echantillon	n	Coliformes fécaux (UFC/100ml)	Streptocoques fécaux (UFC/100ml)
E1	PE1	8	$4,1.10^4$	$5,3.10^5$
E2	PE2	11	$1,4.10^5$	$2,7.10^5$
E3	PE3	22	$1,1.10^5$	$2,6.10^4$
E4	PE4	8	$2,3.10^5$	$5,1.10^5$
E5	PE5	11	$1,8.10^5$	$3,6.10^5$
E6	PE6	22	$1,07.10^5$	$4,1.10^4$

Le graphique ci-dessous montre les caractéristiques bactériologiques (concentrations moyennes) des boues brutes et des percolats des six lits de séchage.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

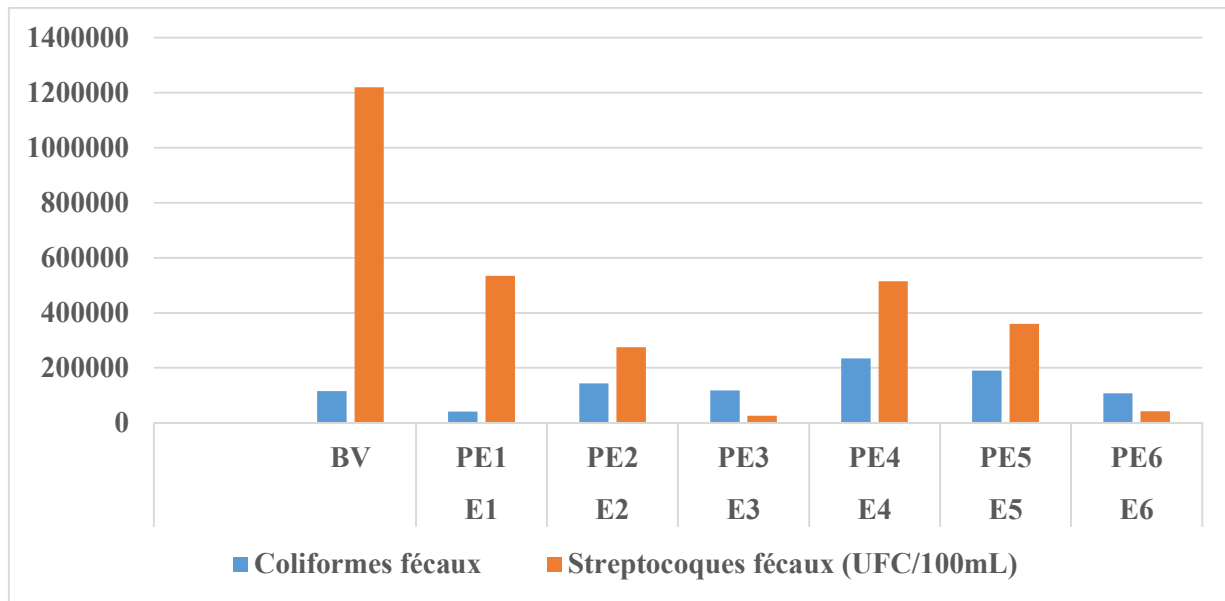


Figure 4: Caractéristiques bactériologiques des boues brutes et des percolats des lits.

On observe des concentrations moyennes en coliformes de certains percolats supérieures ou égales à celles des boues brutes. Cette situation est due au fait qu'après un certain temps de stockage, les boues brutes sont dépourvues totalement de coliformes alors que dans les percolats on retrouve toujours une concentration. Cela laisse penser que le massif filtrant se comporterait comme un milieu de culture et favoriserait donc le développement des bactéries à l'intérieur. Les streptocoques fécaux ont une forte concentration et ne font pas partie de cette disparition probablement à cause de leur résistance biologique dans le milieu extérieur.

3.2- Paramètres parasitologiques

Les résultats de l'observation des œufs d'helminthes dans les percolats sont donnés dans le tableau XIV.

Tableau XV: Valeurs moyennes des œufs d'helminthes des lits expérimentaux.

Echantillons	n	Total œufs (œufs et kystes)	Moyenne (œufs et kystes/litre)	Minimum (œufs et kystes/litre)	Maximum (œufs et kystes/litre)	Ecart-type (œufs et kystes/litre)
PE1	5	186200	187	0	350	151
PE2	6	1987	2	0	20	8
PE3	11	14114	11	0	140	41
PE4	5	1510	2	0	116	51
PE5	6	36319	38	0	105	44
PE6	11	81716	69	0	325	97

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Le tableau nous montre une concentration moyenne très faible pour les lits de séchage E2 et E4. Cela pourrait s'expliquer par le fait que le massif filtrant de ces lits expérimentaux a gardé une planéité relativement uniforme à la surface permettant ainsi une couche de filtration uniforme et par conséquent une meilleure rétention des parasites provenant des boues brutes. Au total **321846 œufs** sont retrouvés dans les percolats de tous les lits avec une concentration moyenne de **309 œufs/l** sur l'ensemble du percolât. Les œufs retrouvés dans les percolats sont essentiellement les œufs d'*Ascaris* et les kystes d'amibes.

Les valeurs moyennes des œufs dans les percolats issus des lits expérimentaux (excepté PE2 et PE4) sont supérieures à celles obtenues par Koottatep et *al.*(2005) soit 0 à 6 œufs/litre et par le MSTC (2004) en Thaïlande soit 0 œufs/litre. Les pilotes utilisés étant encore au début de leur utilisation, les dépôts de boues résiduelles de ces lits ont de faibles épaisseurs et participe très peu à la filtration. Les concentrations moyennes des PE2 et PE4 (2 œufs/l) sont inférieures à celle obtenues par Koottatep et *al.*, (2005).

La figure 5 présente les concentrations moyennes en œufs d'helminthes des boues brutes et des percolats des différents lits de séchage.

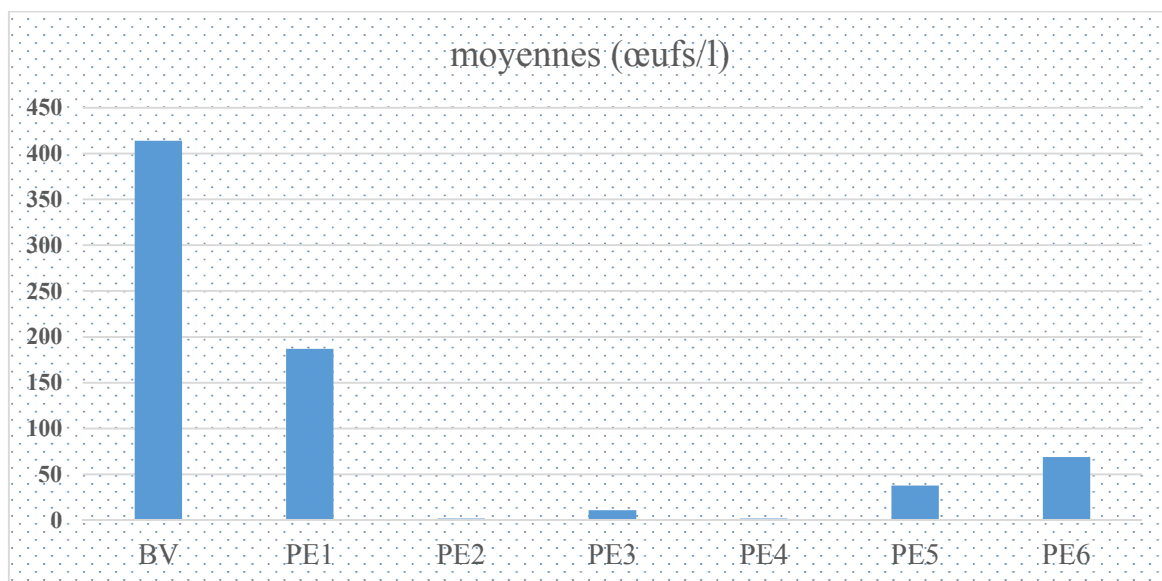


Figure 5: Caractéristiques parasitologiques des boues brutes et des percolats des lits.

Le graphique nous montre qu'il y a une grande différence entre les concentrations dans les boues brutes et celles dans les percolats.

4. Performances épuratoires des lits de séchage

4.1- Paramètres bactériologiques

Il s'agit des abattements en unités logarithmiques calculés pour chaque lit de séchage et en fonction des différents paramètres bactériologiques. Les éléments ayant servi aux calculs sont placés dans les annexes (voir annexe 5). Le tableau ci-dessous présente les différents abattements observés au niveau de chaque lit expérimental.

Tableau XVI: Performances épuratoires des lits de séchage en coliformes et streptocoques.

Paramètres	LITS NON PLANTES			LITS PLANTES		
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Coliformes Fécaux (Ulog)	0,7	-0,3	0,2	0,2	-0,4	0
Streptocoques Fécaux (Ulog)	0,6	0,7	0,7	0,8	0,5	0,5

Les abattements en coliformes fécaux et streptocoques des lits non plantés et des lits plantés sont présentés sur la figure 6.

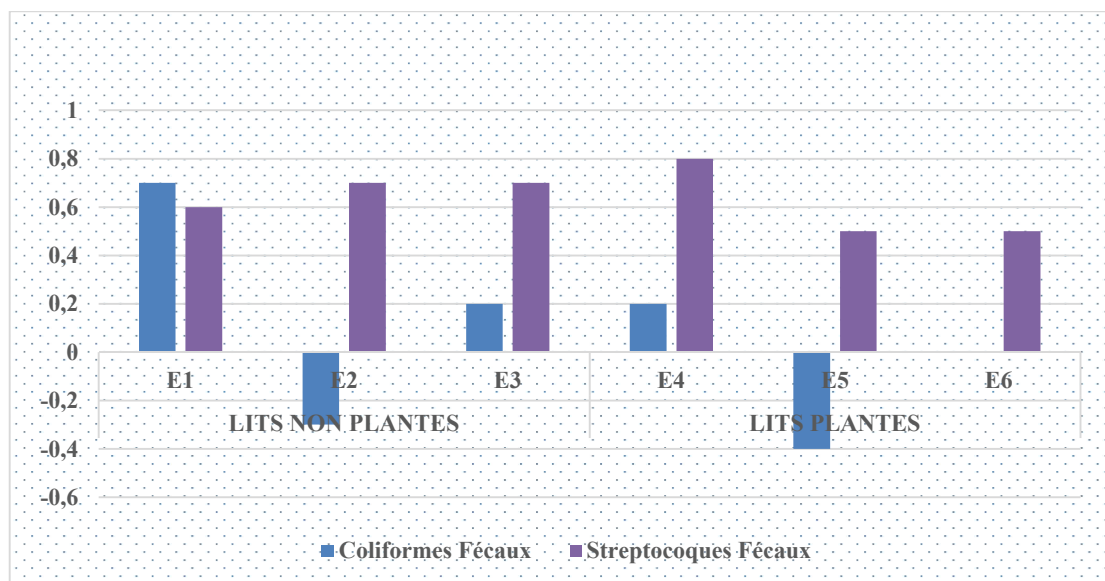


Figure 6: Abattement en bactéries coliformes et streptocoques des lits non plantés et plantés.

Le graphique nous montre que les boues de vidanges brutes ont en général une faible concentration en germes du fait qu'elles sont stockées quelques jours avant l'alimentation des lits. Les lits d'une durée de séjour de 9 jours (E1 et E4) offrent de meilleurs abattements que les lits de 6 jours et 3 jours de repos. Ce qui laisse penser qu'une durée de séjour plus longue permet un meilleur abattement des bactéries. En effet comme les mesures nous l'ont montré,

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

il y a une extinction totale des coliformes au bout de 7 à 8 jours de stockage. Alors une durée de 9 jours des lits pourrait entraîner une élimination des germes dans le massif filtrant avant une nouvelle alimentation et donc favoriser les bons rendements.

L'abattement des streptocoques est positif et meilleur dans tous les lits parce que les tests présentés au paragraphe VI ont montré que la concentration des streptocoques diminue plus lentement dans les boues tout au long du temps de stockage des boues brutes. Ceci est en accord avec la littérature qui précise que les streptocoques ont une résistance à la dessiccation qui leur permet de perdurer dans le milieu extérieur (OMS, 2000).

Nous observons aussi des abattements négatifs et nuls dans certains lits de séchage. Ces résultats sont dus à des concentrations des bactéries dans les boues brutes inférieures à celles dans les percolats au sein de ces lits. Cela pourrait avoir comme explication le développement des bactéries au sein du massif filtrant et un nouvel apport de boues vient encore augmenter la concentration dans les percolats.

Le lit non planté E1 présente le meilleur abattement en coliformes fécaux avec 0,7ulog. Cette valeur est inférieure à celle obtenue par Mbégué et *al.*, en 2008 (1,25 à 1,46 ulog), Radaidah et Al-Zboon en 2011 (3 ulog) et le MSTE en 2004 en Thaïlande (3 ulog).

Le lit planté E4 présente un meilleur abattement en streptocoques fécaux de 0,8ulog

4.2- Paramètres parasitologiques

Les rendements épuratoires des œufs d'helminthes des différents lits sont présentés dans le tableau XVII ci-après.

Tableau XVII: Rendements épuratoires en œufs d'helminthes des lits de séchage.

LITS NON PLANTES				LITS PLANTES		
Lits	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Rendements	76%	99,3%	96,5%	99,8%	91%	86,4%

Nous avons un rendement de 76% pour le lit E1, 99,3% pour E2, 96,3% pour E3, 99,8% pour E4, 91% pour E5 et 86,4% pour E6.

On observe un meilleur rendement (99,8%) dans le lit planté E4 et un faible rendement dans le lit non planté E1 (76%). Ces rendements sont toute fois inférieurs à ceux obtenus par Mbégué et *al* (2009) à Dakar et le MSTE(2004) et qui étaient de 100%. Cette différence de

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

rendements peut s'expliquer par le faible nombre d'échantillons analysés dans ces études (1 échantillon pour Mbéguéré et *al* (2009) et 6 pour MSTE (2004).

La plupart des œufs qui se retrouvent dans les percolats sont les œufs d'ascaris ; ce qui signifie que ces œufs traversent le massif filtrant et ne sont pas retenus à la surface des lits.

Il faut signaler qu'en général les rendements des lits sont influencés par la fuite des percolats dans certains lits de séchage (les lits plantés surtout). Cela donne des volumes de percolats beaucoup plus petits que ceux des boues brutes et augmente par conséquent les rendements et abattements.

VI. PARAMETRES INFLUENCANT LA PERFORMANCE DU SYSTEME

Le dispositif expérimental composé des pilotes (lits de séchage) et servant de base pour les analyses est sujet à de nombreux facteurs qui influencent considérablement son fonctionnement et les résultats qu'il fournit.

1. La durée de stockage des boues avant l'alimentation des lits

La durée de stockage des boues avant l'alimentation joue énormément sur le rendement des lits de séchage. En effet, les bactéries coliformes et les streptocoques ont une durée de vie de quelques jours (une semaine ou deux). Ainsi leur stockage dans le milieu extérieur pendant quelques jours diminue leurs concentrations. Des observations ont été faites et ont révélés que, pour un même apport de boues, la concentration en bactéries diminue quand on passe d'une alimentation à une autre. Pour comprendre ou expliquer cet état de fait, des séries d'analyses ont été réalisées. Elles ont consisté à prélever journalièrement (pour un même apport de boues) des échantillons des boues brutes à une heure de la journée et de les analyser directement. Deux apports de boues ont été ainsi testés et viennent étayer l'hypothèse formulée. Les moyennes des concentrations (exprimées en pourcentage) des deux apports de boues ont été calculées. Le graphique ci-dessous présente ces pourcentages (axe des ordonnées) en fonction des jours de prélèvement (axe des abscisses).

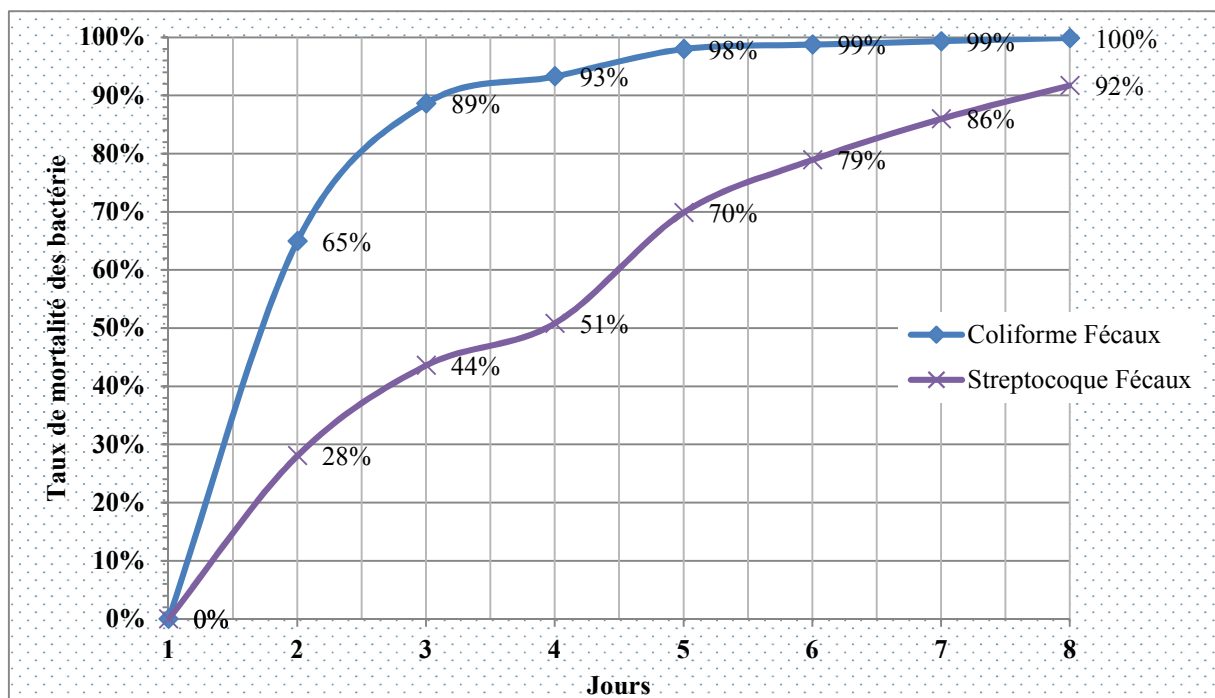


Figure 7: Courbes du taux de diminution des bactéries en fonction de la durée de stockage des boues

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Il ressort de ce graphique une diminution dans les boues stockées de plus de la moitié de la concentration en coliformes fécaux en espace d'un jour seulement. Pour une durée d'une semaine environ pour les deux apports, nous avons une extinction totale des coliformes. Les streptocoques résistent mieux à la durée de stockage car leur concentration diminue lentement et même après une semaine, il reste encore une certaine concentration dans les boues brutes.

Il y a plusieurs facteurs qui pourraient intervenir dans la diminution des germes dans les boues brutes lors de leur stockage avant leur utilisation:

1.1 Le phénomène de broutage ou prédation

C'est un phénomène dans lequel il y a une élimination de certains microorganismes (bactéries) par d'autres germes (parasites). En effet dans les boues brutes, il y a une multitude de germes à savoir les bactéries, virus, parasites, champignons etc. Des études ont révélé qu'il y a une possibilité d'ingestion de 260 bactéries par heure pour les Amibes, 960 par heure pour les Rotifères, 342 par heure pour les nématodes et 49 par heure pour les ciliés. De plus certains végétaux (algues) en position de défense élaborent des toxines qui éliminent également les bactéries.

1.2 Diminution des nutriments

Les bactéries entériques sont adaptées aux conditions de vie dans l'intestin notamment une grande quantité de nutriments. Ainsi leur nombre se trouve rapidement réduit dans le milieu extérieur où il n'y a pas beaucoup de nutriments.

Ainsi la durée de stockage avec tous les facteurs afférents joue alors énormément sur le rendement et l'abattement des germes car à un certain temps de stockage (une semaine ou plus) il n'y a pratiquement plus de coliformes dans les boues brutes alors que dans les percolats on trouve toujours une concentration. Cela conduit à certains rendements ou abattements journaliers négatifs.

2. La croissance des macrophytes

Les macrophytes interviennent dans le processus épuratoire principalement dans la déshydratation par évapotranspiration grâce à leurs feuilles et dans le drainage par l'intermédiaire de leurs racines. Ils participent aussi aux activités symbiotiques (échanges de nutriments) avec les microorganismes au niveau des racines. Ainsi, pour un bon fonctionnement des lits de séchage plantés, les macrophytes doivent être rigoureusement suivis en faisant l'analyse des paramètres suivants : indice de flétrissement, nombre, densité,

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

taille et diamètre. Il conviendrait aussi de faire le choix des macrophytes mieux adaptés à la zone d'étude.

Dans le cadre de notre étude, les lits plantés n'ont pas donné de meilleurs résultats car les macrophytes sont mortes dès les premières alimentations, ont ensuite repoussé pour être finalement détruites. Cette destruction pourrait avoir pour cause la forte charge apportée sur les lits dès la première alimentation, la forte conductivité ou salinité des boues ou encore la présence d'une substance chimique toxique pour les plantes.

3. Le colmatage

Ce phénomène est beaucoup plus observé dans les lits non plantés et constitue un dysfonctionnement du système. Les lits plantés n'ont pas ce problème car les racines des macrophytes permettent de l'éviter. Le colmatage des lits entraîne un drainage très lent des boues et conduit à des odeurs nauséabondes. Un temps de drainage très lent pourrait entraîner l'élimination d'une bonne partie des microorganismes dans la partie de la boue (surnageant) retenue à la surface des lits avant la fin de la percolation.

Dans le cadre de cette étude, des cas de colmatage des lits n'ont pas vraiment été observés. Néanmoins, il a été observé dans le lit non planté E3 une percolation très lente des boues par rapport à d'autres lits.

VII. CONCLUSION

Les boues de vidange sont des fluides composés d'une grande concentration en germes pathogènes pour l'Homme et qu'il convient de mieux les gérer pour éviter des pathologies. Ainsi le développement des nouvelles technologies de traitement de ces sous-produits issus de l'assainissement autonome doit être encouragé et soutenu. L'objectif de cette étude consistait à faire un choix entre les lits de séchage plantés de macrophytes et les lits de séchage non plantés pour le traitement des boues de vidange à Ouagadougou.

Au terme de l'étude, il a été trouvé une meilleure performance épuratoire en bactériologie avec le lit de séchage non planté E1 et le lit de séchage planté E4. Les résultats ont révélé que ce sont les lits d'une durée de repos de 9 jours qui offrent de meilleurs abattements pour tous les germes. Ceci paraît normal car ces lits disposent d'une durée de repos suffisante pour épurer les bactéries du massif filtrant avant une nouvelle alimentation. Les streptocoques ont un meilleur abattement que les autres bactéries car leurs concentrations dans les boues brutes diminuent plus lentement en fonction de la durée de stockage. Le fort rendement en œufs d'helminthes est observé dans le lit planté E4. Cela nous amène à une conclusion selon laquelle au terme de notre étude les lits plantés d'une durée de repos de 9 jours sont appropriés pour l'abattement en bactéries et œufs d'helminthes dans les boues de vidange de Ouagadougou. Les percolats des lits expérimentaux ont des concentrations moyennes en coliformes qui dépassent 1000 UFC/100mL et en œufs d'helminthes supérieures à 1 œuf/litre (OMS 2004) et donc ne doivent pas être réutilisés (réutilisation restrictive) en agriculture. Ils doivent alors suivre un autre traitement (lagunage par exemple) avant d'envisager leur réutilisation car la simple exposition au soleil et une durée de stockage d'une semaine permet d'éliminer complètement les bactéries. Le stockage des boues brutes quelques jours avant leur utilisation n'est pas une bonne méthode d'évaluation des performances sanitaires des lits de séchage. Pour avoir de bonnes performances, les boues brutes devraient être utilisées directement après leur apport. Vu que le simple stockage des boues brutes entraîne une diminution considérable des concentrations des bactéries avant l'alimentation des lits expérimentaux, une simple filtration des boues brutes suivies de leur stockage pendant quelques jours (7 à 8 jours) pourrait permettre de traiter les paramètres sanitaires. L'utilisation des lits de séchage pour l'épuration est alors sans importance.

VIII. RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

Pour la suite de l'étude, nous recommandons ce qui suit :

Envisager la mise en place d'un dispositif (Photo 5) constitué d'une cuve suspendue à 1,5 mètre du sol, muni d'un système d'agitation interne des boues et une vanne reliant la cuve de stockage au lit de séchage pour une alimentation paisible et gravitaire des boues.



Photo 5: Dispositif d'alimentation des lits de séchage (Kengne, 2006)

Vu la forte concentration des boues brutes et percolats, nous recommandons aux agriculteurs de ne pas utiliser les boues brutes pour épandre dans les champs ni les percolats pour arroser les cultures. Nous recommandons aux habitants de privilégier la vidange mécanique (si l'ouvrage d'assainissement le permet) car la vidange manuelle entraîne le dépôt des boues à la proximité des habitations. Aux sociétés de vidange, nous leur recommandons de respecter les sites de dépotages prévus pour la réception des boues plutôt que de les déverser anarchiquement.

Les coliformes sont des bactéries mésophiles et sont donc très sensibles à des températures qui dépassent 37 degrés. L'exposition des cuves de stockage au soleil pourrait augmenter la température des boues et donc diminuer considérablement la concentration des bactéries. Pour cela nous recommandons la construction d'un petit hangar (avec un toit en carton) pour protéger les cuves de stockage du rayonnement solaire.

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Nous lançons également des perspectives suivantes :

Les boues de vidange ayant également une forte concentration en métaux lourds, il serait important d'envisager l'analyse de ces polluants chimiques pour réduire leurs concentrations avant leur rejet dans la nature. Ces polluants peuvent avoir de graves répercussions sur la santé humaine et doivent de ce fait être gérés convenablement. Il existe des normes et directives fixant les valeurs limites pour le rejet des métaux lourds dans l'environnement.

Vu que beaucoup de cas de la fièvre typhoïde sont rapportés dans les structures sanitaires au Burkina Faso, l'analyse des salmonelles s'avère nécessaire pour contrôler (traiter) leur concentration dans les boues brutes avant leur rejet dans la nature.

La durée de stockage réduisant considérablement la concentration des bactéries avant l'alimentation et entraînant certains abattements négatifs, il serait intéressant pour la suite de l'étude de prévoir l'utilisation directe des boues brutes pour l'alimentation afin d'avoir des abattements meilleurs. Ce qui sera bien entendu difficile car les boues de vidange sont apportées par les vidangeurs et le volume du camion ne peut pas être terminé en une alimentation.

L'espèce *Cyperus alopecuroides* n'ayant pas supporté la charge et la composition des boues brutes, nous suggérons pour les prochaines études l'utilisation d'une autre plante fourragère (*Echinocloa pyramidalis* ou *Cyperus papyrus*). Ces plantes ont été utilisées au Cameroun (Kengne, 2006) et ont donné de bons résultats sur des pilotes expérimentaux de composition semblable à notre étude.

Enfin pour les prochaines études, nous envisageons d'étudier la viabilité des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires dans les boues brutes et les percolats pour voir le risque réel que leur présence pourrait avoir.

IX. BIBLIOGRAPHIE

Barro, R. (2012). Contribution à la mise en place d'une station de traitement des matières de vidange par lits de séchage plantés de *Echinocloa pyramidalis* à Ouagadougou.

(Ouagadougou, Burkina Faso: Fondation 2ie).

Chris Zurbrugg (2007). Collecte et traitement des boues de vidange.

CREPA (2004). Etude comparative des modes de gestion des boues de vidange en Afrique de l'Ouest: Analyse des problèmes et recommandations. (Ouagadougou: CREPA).

Kengne, N.I.M. (2006). Potentials of sludge drying beds vegetated with *Cyperus papyrus* L. and *Echinocloa pyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase for faecal sludge treatment in tropical regions. University Yaoundé 1.

Klingel, F., Montangero, A., Koné, D., and Strauss, M. (2002). Gestion des boues de vidange dans les pays en développement. (Ghana: EAWAG/Sandec).

Liénard, A., Troesch, S., Molle, P., and Esser, D. (2008). Traitement des boues par lits plantés de roseaux : rappels des points clefs de cette technique. Ingénierie 10.

Liénard, A., Canler, J., M Mesnier, Troesch, S., and Boutin, C. (2007). Les matières de vidange : caractérisation, traitement spécifique en station d'épuration ou traitement dédié en lits de séchage plantés de roseaux. 4èmes Assises Nationales de l'ANC, CAHORS 8.

Mahamane, I. (2011). Contribution à la gestion durable des boues de vidange de la ville de Ouagadougou : caractérisation des boues et évaluation du dimensionnement des STBV de Kossodo et Zagtouli. (Ouagadougou, Burkina Faso: Fondation 2ie).

Mbéguéré, M., Dodane, P.-H., and Koné, D. (2009). Gestion des boues de vidange: optimisation de la filière (Dakar, Sénégal: EAWAG).

Miss, F. (2007). Etude des possibilités de valorisation des produits issus de traitement des boues de vidange : cas de Yaoundé, Cameroun. (Yaoundé, Cameroun: ENESAD).

Montangero, A., and Strauss, M. (2002). Gestion des boues de vidange (Suisse: EAWAG).

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Al-Muzaini, S. (2008). Performance of sand drying beds for sludge dewatering.

Environmental Science Department 9.

Nielsen, S. (2012). Sludge Treatment in Reed Beds Systems –Development, design, experiences. 7.

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.

Radaidah, J., and Al-Zboon, K. (2011). Increase the Efficiency of Conventional Sand Drying Beds by using Intensive Solar Energy: A case study from Jordan. 2011 2nd International Conference on Environmental Science and Technology 6, 5.

Tilley, E., Luthi, C., Morel, A., Zurbrugg, C., and Schertenleib, R. (2008). Compendium of Sanitation Systems and Technologies.

Troesch, S. (2009). Traitement et valorisation des boues et des matières de vidange par lits de séchage plantes de roseaux. Université de Savoie.

Tsama Njitat, V. (2006). Condition d'acclimatement d'Echinocloa pyramidalis et de cyperus papyrus pour le traitement des boues de vidange (Yaoundé, Cameroun: Université de Yaoundé I).

Vincent, J. (2011). Les lits de séchage de boue plantés de roseaux pour le traitement des boues activées et les matières de vidange : adapter la stratégie de gestion pour optimiser les performances Thèse. Université Montpellier II.

X. ANNEXES

Annexe 1 : Protocole d'analyses des paramètres bactériologiques

Préparation des milieux de culture

- Laver à l'eau de robinet le plateau et la spatule
- Rincer
- Peser 34,5g du milieu de culture (pour le Chromocult Agar) ou 41,4g (pour Slanetz et Barthley) à l'aide d'une balance
- Prélever 1 litre d'eau distillée
- Mettre une petite quantité d'eau distillée dans le ballon puis mettre le milieu (poudre) dans le ballon puis le reste d'eau distillée.
- Mettre un barreau aimanté dans le ballon
- Recouvrir l'ouverture du ballon avec du papier aluminium
- Déposer le ballon sur la plaque chauffante puis régler l'appareil à 370 degré et la vitesse à 3,5 m/s

Ensemencement en profondeur ou dans la masse

- Etiqueter la boîte de Pétri
- Prélever 1ml de l'échantillon et déposer dans la boîte de Pétri (dans le cas d'une dilution, prélever 9ml de la solution de Ringer et 1mL de l'échantillon puis mélanger au vortex avant de prélever 1ml du mélange et déposer dans la boîte de Pétri).
- Laisser le milieu de culture préparer se refroidir
- Verser le milieu de culture encore liquide sur l'échantillon jusqu'à ce qu'une boucle se forme
- Homogénéiser doucement la boîte
- Laisser la boîte se refroidir puis incuber dans l'incubateur selon la température d'incubation des germes et leur durée d'incubation.

La concentration des bactéries se calcule alors par la formule suivante

$$C = \left(\frac{n}{V} * d \right) * 100$$

Avec **n** : nombre de colonies comptées, **V** : volume de l'échantillon déposé dans la boîte et **d** : le facteur de dilution.

Annexe 2 : Protocole d'analyse des œufs d'helminthes (Bailenger modifié par Bouhoum et Schwartzbrod)

- Prélever 1 litre (V) de l'échantillon à analyser dans un flacon en plastique
- Laisser décanter pendant une à deux heures
- Eliminer 90% du surnageant
- transvaser le sédiment dans plusieurs tubes à essai et centrifuger 1000g pendant 15 minutes
- Eliminer les surnageants puis recueillir et rassembler les sédiments dans un même tube
- Centrifuger à 1000g pendant 15 minutes
- Mettre le culot de centrifugation en suspension dans son volume égal de tampon acéto acétique à pH 4,5
- Agiter
- Ajouter un volume double d'acétate d'éthyle ou éther dans le volume du mélange
- Agiter fortement au moyen d'un vortex
- Centrifuger à 1000g pendant 15 minutes
- Le tube contient alors 3 phases : une phase des graisses, une phase du tampon et le culot, éliminer les autres parties et laisser le culot
- Ajouter un volume du sulfate de zinc 5 fois supérieur au culot puis noter le volume final obtenu (X)
- Mélanger soigneusement au vortex
- Prendre à l'aide d'une pipette pasteur un volume (P) de la solution (de préférence 0,5mL) et déposer dans la lame de McMaster
- Mettre la lame au microscope et commencer à compter les œufs à l'objectif 10X puis 40X et 100X.

La formule du calcul de la concentration des œufs se présente comme suit :

$$N = \frac{A \cdot X}{P \cdot V}$$

Avec N : la concentration des œufs d'helminthes

A : le nombre d'œufs comptés au microscope

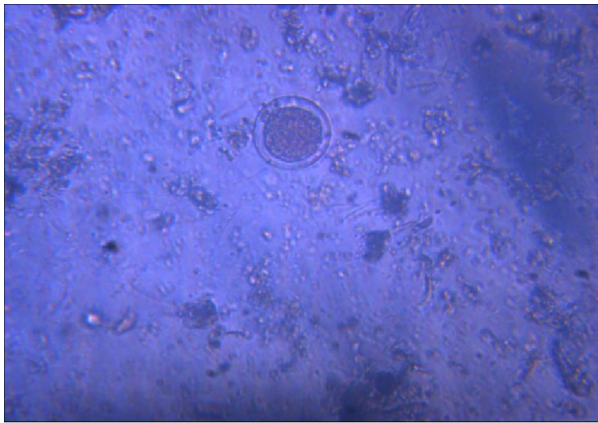
P : volume mis dans la cellule de McMaster

V : le volume initial de l'échantillon

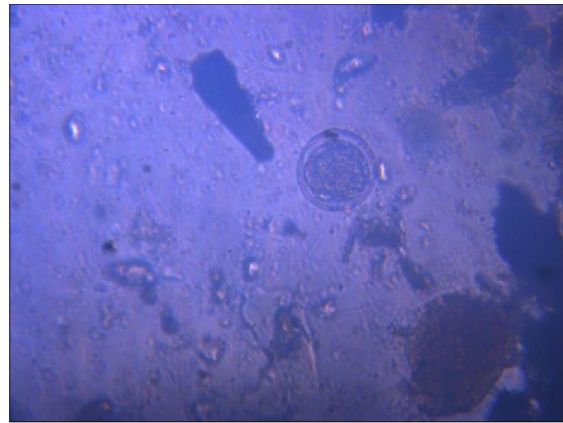
X : volume du mélange culot-sulfate de Zinc

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Annexe 3 : Photos des œufs d'helminthes retrouvés dans les échantillons



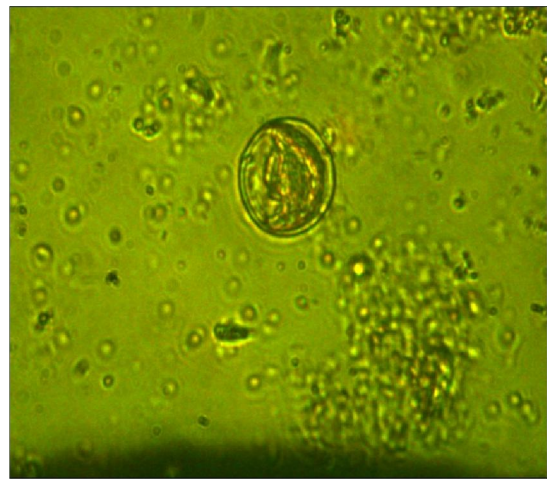
Œuf d'*A. lumbricoïdes* non fécondé (45 à 75microns)



Œuf d'*Ascaris lumbricoïdes* fécondé (90 à 95microns)



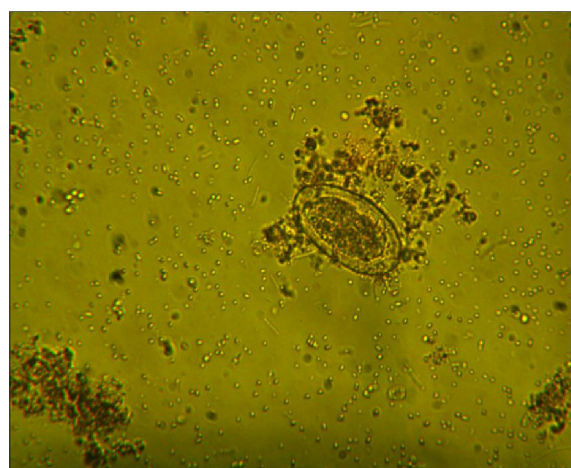
Œuf de *Trichuris trichura* (50 à 60 microns)



Kyste d'*Entamoeba histolytica* (20 à 40 microns)



Larve d'anguillule *Strongiloides stercoralis*



Œuf d'*Ancylostoma duodenale* (40 à 60 microns)

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Annexe 4 : Caractéristiques des boues brutes

Bactériologie

	Date d'alimentation	CF (UFC/100mL)	SF (UFC/100mL)	Volume boues (litres)
BVNP	lundi 03/03	39091	2710000	576
	jeudi 06/03	100000	730000	240
	dimanche 09/03	0	149000	720
	mercredi 12/03	290000	3100000	720
	samedi 15/03	2000	1010000	612
	mardi 18/03	1000	710000	192
	Vendredi 21/03	36000	3450000	576
	lundi 24/03	500	720000	120
	jeudi 27/03	0	550000	288
	dimanche 30/03	2900	81000	720
	mercredi 02/04	900	25000	720
	samedi 05/04	2700	54000	240
	mardi 08/04	550000	3410000	576
	vendredi 11/04	114000	860000	180
	lundi 14/04	33000	750000	408
	jeudi 17/04	7000	176000	408
	dimanche 20/04	300	100000	240
	mercredi 23/04	0	71000	36
	Samedi 26/04	0	19000	192
	mardi 29/04	2750000	3400000	120
	vendredi 02/05	190000	1040000	288
	lundi 05/04	6000	13000	36
BVP	lundi 03/03	23637	3000000	576
	jeudi 06/03	113000	760000	240
	dimanche 09/03	0	150000	720
	mercredi 12/03	590000	4270000	720
	samedi 15/03	0	880000	612
	mardi 18/03	7500	320000	192
	vendredi 21/03	27000	2520000	576
	lundi 24/03	100	550000	120
	jeudi 27/03	0	490000	288
	dimanche 30/03	3000	60000	720
	mercredi 02/04	300	38000	720
	samedi 05/04	3100	155000	240
	mardi 08/04	520000	2360000	576
	vendredi 11/04	155000	760000	180
	lundi 14/04	44000	360000	408

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

	jeudi 17/04	4000	138000	408
	dimanche 20/04	1100	112000	240
	mercredi 23/04	500	62000	36
	samedi 26/04	0	17000	108
	mardi 29/04	0	18000	36
	vendredi 02/05	0	170000	108
	lundi 05/04	24000	30000	36

Parasitologie

	Date de prélèvement	Concentrations (œufs/l)	Volume boues (litres)
BVNP	jeudi 06/03	245	240
	mercredi 12/03	820	720
	mardi 18/03	420	192
	samedi 15/03	40	612
	vendredi 21/03	16	576
	mardi 08/04	1140	576
	vendredi 11/04	150	180
	lundi 14/04	39	408
	samedi 26/04	0	192
	vendredi 02/05	210	288
	lundi 05/05	150	72
BVP	jeudi 06/03	265	240
	mercredi 12/03	790	720
	mardi 18/03	60	192
	samedi 15/03	294	612
	vendredi 21/03	30	576
	mardi 08/04	1428	576
	vendredi 11/04	240	180
	lundi 14/04	11	408
	samedi 26/04	0	108
	vendredi 02/05	0	108
	lundi 05/05	0	72

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Annexe 5 : Caractéristiques des percolats

Bactériologie

PE1			
Date de prélèvement	CF (UFC/100ml)	SF (UFC/100ml)	Volume percolats
lundi 03/03	204545,5	770000	258,08
mercredi 12/03	68000	1290000	233,5
vendredi 21/03	4000	79000	172,92
dimanche 30/03	6100	40000	532
mardi 08/04	21000	670000	255,58
jeudi 17/04	3800	96000	262,21
samedi 26/04	1000	4000	18,69
lundi 05/05	1300	30000	21,88

PE2			
Date de prélèvement	CF (UFC/100mL)	SF (UFC/100mL)	Volume percolats
lundi 03/03	1800000	1280000	180,2
dimanche 09/03	28000	179000	303,75
samedi 15/03	0	440000	356,8
vendredi 21/03	15000	152000	139,5
jeudi 27/03	3800	44000	178,67
mercredi 02/04	6500	27000	301,25
mardi 08/04	161000	880000	168
lundi 14/04	12000	75000	244,95
dimanche 20/04	1500	40000	123,1
samedi 26/04	400	10000	90,53
vendredi 02/05	30000	25000	99,35

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

PE3			
Date de prélèvement	CF (UFC/100mL)	SF (UFC/100mL)	Volume percolats (l)
lundi 03/03	2860000	910000	74,46
jeudi 06/03	71000	190000	221,73
dimanche 09/03	76000	168000	221,73
mercredi 12/03	169000	1040000	170,92
samedi 15/03	3000	540000	170,4
mardi 18/03	12500	430000	150,5
vendredi 21/03	15000	115000	77,33
lundi 24/03	3500	61000	91,88
jeudi 27/03	6400	27000	74,46
dimanche 30/03	7400	19000	170,92
mercredi 02/04	6500	27000	230,33
samedi 05/04	3100	22000	221,73
mardi 08/04	82000	670000	80,22
vendredi 11/04	31000	113000	147,45
lundi 14/04	10000	62000	100,28
jeudi 17/04	1500	82000	62,09
dimanche 20/04	900	24000	32,86
mercredi 23/04	1900	8000	28,54
samedi 26/04	600	10000	21,62
mardi 29/04	42000	73000	102,28
vendredi 02/05	23000	97000	84,72
lundi 05/04	2000	57000	24,62

PE4			
Date de prélèvement	CF (UFC/100mL)	SF (UFC/100mL)	Volume percolats (l)
lundi 03/03	1060000	279091	258,08
mercredi 12/03	175000	1240000	533,5
vendredi 21/03	54000	220000	207,83
dimanche 30/03	22200	23000	427,5
mardi 08/04	224000	790000	160,69
jeudi 17/04	2300	66000	188,5
samedi 26/04	300	7000	13,02
lundi 05/05	2200	43000	17,62

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

PE5			
	CF (UFC/100mL)	SF (UFC/100mL)	Volume percolats
lundi 03/03	960000	1230000	181,2
dimanche 09/03	398182	232000	303,75
samedi 15/03	159000	620000	256,8
vendredi 21/03	45000	330000	146,95
jeudi 27/03	5400	47000	133,07
mercredi 02/04	2800	27000	267,35
mardi 08/04	255000	1090000	131,04
lundi 14/04	13000	78000	233,83
dimanche 20/04	1900	53000	116,15
samedi 26/04	1800	2000	11,02
vendredi 02/05	600	66000	44,61

PE6			
Date de prélèvement	CF (UFC/100mL)	SF (UFC/100mL)	Volume percolats
lundi 03/03	1370000	1150000	84,62
jeudi 06/03	110000	234000	190,47
dimanche 09/03	205455	238182	190,47
mercredi 12/03	316364	1220000	149,95
samedi 15/03	22000	690000	180,6
mardi 18/03	25000	237000	145,1
vendredi 21/03	17000	350000	84,62
lundi 24/03	2600	70000	109,2
jeudi 27/03	3300	59000	79,96
dimanche 30/03	1000	34000	149,95
mercredi 02/04	4300	50000	190,47
samedi 05/04	100	17000	204,87
mardi 08/04	74000	700000	78,96
vendredi 11/04	51000	121000	149,95
lundi 14/04	17000	52000	96,38
jeudi 17/04	1400	78000	73,27
dimanche 20/04	1100	25000	40,85
mercredi 23/04	1200	18000	28,54
samedi 26/04	200	6000	23,88
mardi 29/04	6000	7000	26,19
vendredi 02/05	900	64000	23,88
lundi 05/04	700	63000	23,88

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Parasitologie

PE1		
Date de prélèvement	Concentration (œufs/l)	Volume percolats
mercredi 12/03	350	532
vendredi 21/03	0	174,42
mardi 08/04	0	258,08
samedi 26/04	76	18,68
lundi 05/05	0	21,88

PE4		
Date de prélèvement	Concentration (œufs/l)	Volume percolats
mercredi 12/03	0	523,5
vendredi 21/03	0	207,83
mardi 08/04	0	160,69
samedi 26/04	116	13,02
lundi 05/05	0	17,62

PE2		
Date de prélèvement	Concentration (œufs/l)	Volume percolats
samedi 15/03	0	386
vendredi 21/03	0	141
mardi 08/04	0	170,5
lundi 14/04	0	244,95
samedi 26/04	0	90,53
vendredi 02/05	20	99,35

PE5		
date	Concentration (œufs/l)	Volume percolats
samedi 15/03	60	376
vendredi 21/03	0	146,95
mardi 08/04	105	131,04
lundi 14/04	0	233,83
samedi 26/04	0	11,02
vendredi 02/05	0	44,61

PE3		
Date de prélèvement	Concentration (œufs/l)	Volume percolats
jeudi 06/03	0	228,32
mercredi 12/03	0	150,8
samedi 15/03	10,5	182
mardi 18/03	3,5	178
vendredi 21/03	0	78,83
mardi 08/04	140	82,72
vendredi 11/04	0	149,95
lundi 14/04	0	100,28
samedi 26/04	0	21,62
vendredi 02/05	0	84,72
lundi 05/05	0	24,62

PE6		
Date de prélèvement	Concentrations (œufs/l)	Volume percolats
Jeudi 06/03	325	220,72
mercredi 12/03	0	145,92
samedi 15/03	15	178
mardi 18/03	6	166
vendredi 21/03	0	84,62
mardi 08/04	80	78,96
vendredi 11/04	0	149,95
lundi 14/04	0	96,36
samedi 26/04	0	23,88
vendredi 02/05	0	23,88
lundi 05/05	0	23,88

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Annexe 5 : performances épuratoire des lits

Bactériologie

Lits	Paramètres sanitaires	Σ ($C_{\text{boues}} * V_{\text{boues}}$) en UFC/100ml	Σ ($C_{\text{percolat}} * V_{\text{percolat}}$) En UFC/100ml	Rendements épuratoire (en %)	Abattement (en Ulog)
E1	CF	486675456	98801331	79,70	0,7
	SF	4652388000	1115159200	76,03	0,6
E2	CF	158183472	297453333	-88,04	-0,3
	SF	2824680000	570487280	79,80	0,7
E3	CF	521000736	300870487	42,25	0,2
	SF	3031944000	612517010	79,80	0,7
E4	CF	486675456	302328000	37,88	0,2
	SF	4652388000	770737132,8	83,43	0,8
E5	CF	122576304	332125842,7	-170,95	-0,4
	SF	2193012000	630120530	71,27	0,5
E6	CF	225421152	249540216,7	-10,70	0,0
	SF	2365260000	678311545,5	71,32	0,5

Avec $C_{\text{entrée}}$ = concentration à l'entrée du lit

$V_{\text{entrée}}$ = volume apporté sur le lit

C_{sortie} = concentration des percolats (à la sortie des lits)

V_{sortie} = volume des percolats (à la sortie des lits)

Analyse des paramètres sanitaires dans le traitement des boues de vidange sur lits de séchage à Ouagadougou

Parasitologie

LITS	Σ (C _{boues} *V _{boues}) en œufs/l	Σ (C _{percolat} *V _{percolat}) en œufs/l	Rendements épuratoires
NON PLANTES			
E1	781128	187619,68	76,0%
E2	279744	1987	99,3%
E3	408756	14114,8	96,5%
PLANTES			
E4	846504	1510,32	99,8%
E5	403056	36319,2	91,0%
E6	602520	81716,8	86,4%

Annexe 6 : quelques formules de calcul

Concentrations moyennes

$$\text{Concentration moyenne} = \frac{\sum C * V}{\sum V}$$

Avec C= concentration des boues brutes ou percolats à chaque alimentation

V= volume de boues brutes ou percolats à chaque alimentation

Rendements épuratoires

$$\text{Rendement} = \frac{\sum(Cb * Vb) - \sum(Cp * Vp)}{\sum(Cb * Vb)} * 100$$

Abattements

$$\text{Abattement} = \text{Log} \left(\frac{\sum Cb * Vb}{\sum Cp * Vp} \right)$$

Avec :

Cb : concentration des germes dans les boues brutes (à l'entrée des lits) en UFC/100ml

Vb : volume des boues brutes apporté sur les lits en Litres

Cp : concentration des germes dans les percolats (à la sortie des lits) en UFC/100ml

Vb : volume du percolât recueilli à la sortie des lits en Litres.