



**EVALUATION DE L'EFFICACITE DES LITS DE SECHAGE NON PLANTES
DE LA STATION DE TRAITEMENT DES BOUES DE VIDANGE A SOKODE
AU TOGO**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE
MASTER II EN EAU ET ASSAINISSEMENT

Présenté et soutenu publiquement le [08/07/2019] par
Mognosibè TAGBA (20150070)

Directeur de mémoire : **Prof. Yaovi AMEYAPOH, Professeur titulaire à l'Université de
Lomé**

Encadrant 2iE : **Dr. Seyram SOSSOU Maitre-assistant à 2iE**

Maître de stage : **Ing. Tétouehaki TCHONDA Consultant en assainissement**

Mairie de Sokodé, Togo

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Pr. Yacouba KONATE**

Membres et correcteurs : **Dr. Tadjouwa KOUAWA**

Dr.-ing. Seyram K. SOSSOU

Promotion [2017/2018]

DEDICACES

Pour leur exprimer toute ma gratitude, je dédie cet humble travail à :

- ✚ Mes très Chers regrettés parents bien aimés père Kpatcha TAGBA et ma très chère mère Amah Essotchossa BIKOZI que leurs âmes reposent en paix.
- ✚ Mes frères et à ma petite sœur pour leur soutien moral et financier tout le long de ma formation
- ✚ A toute ma famille
- ✚ A tous ceux qui m'ont assisté durant ma formation.

CITATION

*« La différence entre le possible et l'impossible se trouve dans la
détermination »*

Mohandas Karamchand GANDHI

Homme politique, Philosophe, Révolutionnaire (1869-1948)

REMERCIEMENTS

Il est incontestable que ce manuscrit n'aurait pu voir le jour sans le soutien l'accompagnement de nombreuses personnes, qui malgré leurs multiples occupations, n'ont ménagé aucun effort pour m'apporter leur appui.

Qu'il me soit permis de remercier particulièrement

- ✚ La Direction Générale de l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) à travers son personnel, pour leur engagement dans la réussite de notre formation.
- ✚ Prof. Yaovi AMEYAPOH, mon directeur de mémoire qui m'a permis de faire les analyses au Laboratoire Microbiologie et de Contrôle de Qualité des Denrées Alimentaire (LAMICODA)
- ✚ Mon encadreur interne Dr Séyram SOSSOU. Merci pour votre assistance malgré la distance, pour votre aide dans quête de certaines données. Merci pour tout ce que vous m'avez appris durant ces mois, tant professionnellement qu'humainement.
- ✚ Le Maire de la commune de Sokodé M. Biladègnème TCHAPKEDEOU de m'avoir accueilli au sein de la Mairie à la Direction des Services Techniques DST, au Directeur des Services Techniques M. Essossinam KETETCHE pour sa disponibilité et à tout le personnel de la Mairie de Sokodé
- ✚ Mon encadreur Ing TCHONDA Tétouehaki qui m'a suivi tout au long de ce stage, merci pour les nombreux conseils, votre accueil chaleureux et votre disponibilité.
- ✚ A M. Mawuto Dodzi AGBEZOUHLON chargé des marchés sur le projet TTS pour sa présence et son soutien
- ✚ Au Chef du Service Régional d'Hygiène et d'Assainissement de base (SRHAB) M. Naya ATCHIN et à tout son personnel particulièrement à M. Koffi AFANSOUNOUDI pour son aide et sa disponibilité.
- ✚ L'ensemble du corps enseignant du 2iE pour les connaissances transmises au cours de la formation du cycle de Master
- ✚ Mon oncle Tagba ASSIH pour son assistance et son soutien
- ✚ Ma famille pour son soutien autant moral que financier
- ✚ Mes camarades de promotion

RESUME

La mauvaise gestion des boues de vidange constitue une problématique de santé publique et d'environnement pour les populations des villes africaines notamment celle de Sokodé au Togo. Ainsi, il a été mis sur pied depuis 2018 une station de traitement des boues de vidange dans la ville de Sokodé en vue d'une valorisation en agriculture des sous-produits de traitement. La présente étude est une contribution à la gestion des boues de vidange par l'évaluation l'efficacité de traitement des lits de séchage non-plantés. L'évaluation du fonctionnement des lits de séchage non-plantés a été appréciée en mesurant la charge hydraulique, la charge organique, les débits entrant et sortant, la surface d'infiltration-percolation. L'évaluation de la performance des lits a été appréciée en déterminant le rendement épuratoire à travers les paramètres physico-chimiques et microbiologiques. L'évaluation de la siccité et de la qualité hygiénique des boues sèches est déterminée respectivement, à partir du taux de matière sèche et de la présence de germes d'indicateurs de contamination fécales. Les résultats montrent un bon fonctionnement des lits. L'évaluation de la performance épuratoire montre une inefficacité des lits dans le traitement des boues avec des proportions suivant : 32,11% pour les MS, 45,16% de MES, 40,92% de DBO5, 43,28% de DCO et 23,36% de NTK contre 80% de DBO5, 90% de MS et 80% de DCO énoncé dans l'APD. Cependant, ils ne remplissent pas les directives de rejet des eaux usées dans la nature décrit par l'OMS pour l'ensemble des paramètres. Plus la charge est élevée, plus le rendement est faible. L'évaluation de la siccité montre une augmentation du temps de séchage des boues quand la charge appliquée augmente, une qualité hygiénique non atteinte au bout d'un mois d'entreposage. Pour une valorisation agricole les boues de la station de Sokodé nécessitent une prolongation du temps d'entreposage. Après quantification des dépenses et recettes cela montre une rentabilité de la station. Élaboration des recommandations pour optimiser les lits de séchage avec l'utilisation des pavés.

Mots clés :

-
- 1- Boues de vidange
 - 2- Charge hydraulique
 - 3- Lit de séchage
 - 4- Qualité hygiénique
 - 5- Siccité

ABSTRACT

The poor management of sewage sludge is a public health and environmental problem for the populations of African cities, particularly that of Sokodé in Togo. For example, since 2018, a sewage sludge treatment plant has been set up in the city of Sokodé to promote the use of treatment by-products in agriculture. This study is a contribution to the management of sewage sludge by evaluating the treatment efficiency of non-planted drying beds. The evaluation of the functioning of the non-plant drying beds was assessed by measuring the hydraulic load, the organic load, the inflow and outflow rates, the infiltration-percolation surface. The evaluation of bed performance was assessed by determining the purification efficiency through physico-chemical and microbiological parameters. The assessment of the dryness and hygienic quality of dry sludge is determined respectively, based on the dry matter content and the presence of faecal contamination indicator germs. The results show that the beds are working well. The evaluation of the purification performance shows an inefficiency of the beds in sludge treatment with the following proportions: 32.11% for MS, 45.16% for TSS, 40.92% for BOD5, 43.28% for COD and 23.36% for NTK against 80% for BOD5, 90% for MS and 80% for COD stated in the detailed preliminary project. However, they do not meet the guidelines for the discharge of wastewater into nature described by WHO for all parameters. The higher the load, the lower the efficiency. The dryness assessment shows an increase in sludge drying time as the applied load increases, a hygienic quality not achieved after one month of storage. For agricultural valorization, the sludge from the Sokodé station requires an extension of the storage time. After quantifying the expenses and revenues, this shows that the station is profitable. Development of recommendations to optimize drying beds with the use of paving stones.

Key words:

-
- 1- Faecal sludge
 - 2- Hydraulic load
 - 3- Drying bed
 - 4- Hygienic quality
 - 5- Dryness

LISTE DES ABREVIATIONS

2iE : Institut international d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AEP : Approvisionnement en Eau Potable

APD : Avant-Projet Détaillé

CF : Coliformes Fécaux

BAD : Banque Africaine de Développement

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

FAE : Facilité Africaine de l'Eau

LSNP : Lit de Séchage Non Planté

LSP : Lit de Séchage Planté

LAMICODA : Laboratoire Microbiologie et de Contrôle de Qualité des Denrées Alimentaire

MS : Matière Sèche

MES : Matière En Suspension

NTK : Azote Total Kjeldahl

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

OMD : Objectif du Millénaire pour le Développement

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

PEA : Programme Eau potable et Assainissement

PED : Pays En Développement

pH : Potentiel Hydrogène

SAR : Sodium Absorption Ratio

SF : Streptocoque fécaux

STBV : Station de Traitement des Boues de Vidange

T°C : Température en degré Celsius

TTS : Toilette pour Tous à Sokodé

SOMMAIRE

DEDICACES	i
CITATION	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABREVIATIONS	vi
SOMMAIRE	1
INTRODUCTION	7
I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	10
1. Définition de quelques mots et concepts	10
1.1. Boues de vidange	10
1.2. Lit de séchage non plante	10
1.3. Massif filtrant	10
2. Problématiques de la gestion des boues de vidange	11
3. Situation de l'accès aux ouvrages d'ANC	11
3.1. Situation de la collecte et du transport des boues de vidanges	12
3.2. Situation de traitement des boues de vidange	12
3.3. Recyclage de boues non traitées	12
4. Conséquences d'une mauvaise gestion des boues de vidange	12
4.1. Risques sanitaires	12
4.2. Risques environnemental	12
4.3. Risques esthétiques	13
5. Cadre Institutionnel et Réglementaire sur les boues de vidange	13
6. Techniques de traitement des boues de vidanges	14
6.1. Principe de traitement sur lit de séchage non planté (LSNP)	18
6.2. Lois de l'infiltration / percolation	18
6.3. Performance épuratoire des LSNP	20
7. Cadre d'étude	22
7.1. Géologie et sols	22
7.2. Climat	22
II. MATERIEL ET METHODES	25
1. Présentation et localisation de la zone d'étude	25
2. Description de la filière de traitement de la STBV de Sokodé	26
3. Description de lit de séchage de la station de Sokodé	29

4. Évaluation du fonctionnement des lits de séchage non-plantés de la station de traitement des boues de vidange de Sokodé.....	30
4.1. Calcul du Taux de charge	30
4.2. Calcul de la charge organique	30
4.3. Détermination de la Charge admissible.....	30
4.4. Détermination du débit d'entrée et de sortie du percolât des lits	31
4.5. Calcul de la surface d'infiltration du percolât dans les lits de séchage	31
5. Evaluation de la performance épuratoire des LSNP de la STBV	32
5.1. Echantillonnage	32
5.2. Prélèvement.....	33
5.3. Analyses des paramètres d'étude des boues de vidanges	33
6. Évaluation de la siccité et de la qualité hygiénique des boues	34
6.1. Temps de séchage des boues en fonction de la charge de boues appliquées sur les lits	36
7. Gestion technique et financière de la STBV de Sokodé	36
7.1. Gestion technique de la STBV de Sokodé	36
7.2. Gestion financière de la station	37
8. Traitement des résultats.....	39
III. RESULTATS ET DISCUSSION.....	41
1. Evaluation du fonctionnement des lits de séchage de la STBV de Sokodé.....	41
1.1. La Charge Hydraulique	41
1.2. La charge Organique	41
1.3. La charge admissible.....	41
1.4. Le débit d'entré et de sorti.....	41
1.5. La surface d'infiltration du percolât ou surface d'interstice entre les pavés.....	41
2. Evaluation de la performance des lits LSNP de la STBV	42
2.1. Caractérisation des boues	42
2.2. Evaluation des performances par rapport aux paramètres physico-chimiques.....	44
2.3. Evaluation des performances par rapport aux paramètres microbiologiques	46
3. Evaluation de la Siccité et de la qualité hygiénique des boues	49
3.1. Evolution de la Siccité des boues.....	49
3.2. Qualité hygiénique des boues séchées	51
4. Gestion technique et financière de la STBV de Sokodé	53
4.1. Gestion technique de la STBV de Sokodé	53
4.2. Gestion financière de la STBV de Sokodé.....	55
IV. CONCLUSION.....	59

V. RECOMMANDATION	60
VI. BIBLIOGRAPHIE	61
VII. ANNEXES	I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Qualité recommandée pour la réutilisation des eaux usées traitées (OMS, 2006)	14
Tableau II: Comparaison de certains techniques de traitement de boues de vidange.....	16
Tableau III: Avantages et inconvénients de l'utilisation du sable comme composant du massif filtrant	21
Tableau IV: Principe de traitement des boues de vidange à la STBV de Sokodé	27
Tableau V; Synthèse des différentes méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques.....	33
Tableau VI: synthèse des différentes méthodes d'analyses des paramètres bactériologiques	34
Tableau VII: Résumé des différentes étapes pour déterminer la surface d'infiltration.....	42
Tableau VIII: Caractéristiques physico-chimiques de boues de vidanges de la STBV de Sokodé.....	43
Tableau IX: Comparaison des Caractéristiques des boues de vidange de quelques localités	43
Tableau X: Rendement moyen d'épuration et d'abattement	46
Tableau XI: Abattement des coliformes fécaux au niveau des lits étudiés	46
Tableau XII: Abattement des Escherichia coli au niveau des lits étudiés	47
Tableau XIII: Abattement des Streptocoques fécaux au niveau des lits étudiés	48
Tableau XIV: Abattement des oeufs d'helminthes au niveau des lits étudiés	48
Tableau XV: Temps de séjour des boues de vidange sur les lits étudiés en fonction des charges d'alimentations.....	50
Tableau XVI: Evolution de la teneur en coliformes fécaux à différents temps de séchage des boues..	51
Tableau XVII: Composition en helminthes des boues séchées.....	52
Tableau XVIII :Avantages et inconvénients de l'utilisation des pavés comme composant du massif filtrant:	53
Tableau XIX: Estimation du budget de l'apport en sable	56
Tableau XX: Estimation du budget de fabrication des pavés.....	56

LISTE DES FIGURES

Figure 1:Schéma d'un massif filtrant.....	10
Figure 2: Vue d'ensemble des technologies de traitement à faible cout des boues de vidange et les combinaisons envisageable (Klingel et al., 2002)	15
Figure 3: Schéma de principe d'un lit de séchage de boues non-planté (Tilley et al., 2014).	18
Figure 4: Aspect des lits de séchage surchargés et colmatés de la STBV de Zagtouli (Tagba, 2018)..	20
Figure 5: Sable de mer utilisé comme filtre sur les lits	21
Figure 6: Courbe Ombrothermique de Sokodé (2003-2013).....	23
Figure 7: Localisation de la STBV de Sokodé	26
Figure 8: Vue d'ensemble de la STBV de Sokodé	28
Figure 9: Coupe d'un lit de séchage de la STBV de Sokodé	29
Figure 10: La pose de pavés dans les lits de séchage (Tagba, 2018).....	30
Figure 11: Schéma montrant la disposition des lits et les charges d'alimentation.....	32
Figure 12: Conditionnement des échantillons prélevés	33
Figure 13: Prélèvement des échantillons.....	33
Figure 14: Qualité de dépollution des boues de la STBV de Sokodé.....	44
Figure 15: Rendement épuratoire des lits en fonction de la charge.....	45
Figure 16: Boues en séchage sur un lit avec des pavés	49
Figure 17: Evolution de la siccité en fonction de la charge.....	50
Figure 18: Evolution du temps de séchage en fonction de la charge	51
Figure 19: Quelques formats de pavés qu'ont peut utiliser dans les lits de séchage	54
Figure 20: Aspect du massif filtrant proposé	55

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'eau et l'assainissement sont des défis majeurs auxquels le monde fait face ces dernières années, ceci par les problèmes qu'ils posent en matière de santé publique et d'hygiène. Malgré les objectifs du développement durable (ODD) pour l'eau et l'assainissement, 2,1 milliards de personnes, soit 30% de la population mondiale, n'ont toujours pas accès à l'eau potable et 4,5 milliards de personnes, soit plus 60% ne disposent pas d'assainissement géré en toute sécurité (OMS et UNICEF, 2017). L'assainissement des excréta et eaux usées en milieu urbain d'Afrique subsaharienne est caractérisé par la prédominance de l'assainissement autonome. Ces installations d'assainissement autonome (latrines, fosses septiques) produisent des boues dont les quantités sont de plus en plus impressionnantes et inquiétantes. Le transport et le traitement des boues sont des services indispensables pour les villes africaines. Pourtant, ces activités sont rarement planifiées par les autorités compétentes et sont le plus souvent assurées par des opérateurs informels (société de vidange mécanique) voir clandestins (vidangeurs manuels), les conséquences sont désastreuses pour l'environnement, des milliers de tonnes de boues sont déversées sans traitement chaque jour de par le monde (Koanda, 2006).

Dans la plupart des pays en voies de développement à l'instar du Togo, le problème de la gestion des boues de vidange se pose de manière aiguë. L'insuffisance des moyens techniques et financiers ainsi que de ressources humaines qualifiées au niveau des services techniques de l'Etat pour faire face de manière efficace aux problèmes d'assainissement dans les villes. Il est donc impératif de trouver des solutions ainsi de nombreux processus sont déjà en cours. L'accent a été mis en particulier sur la construction de latrines, mais la collecte et le traitement des produits (liquides et solides) de ces ouvrages d'assainissement font souvent défaut (Reymond, 2008).

La mauvaise gestion des boues de vidange entraîne de lourdes conséquences pour l'environnement et les populations. Selon de nouvelles estimations de l'Organisation mondiale de la Santé OMS (2016), 12,6 millions de personnes sont décédées en 2012 du fait d'avoir vécu ou travaillé dans un environnement insalubre. Les maladies diarrhéiques touchent principalement les enfants de moins de cinq ans. Un taux de mortalité infantile de 89% dans les zones rurales du Togo selon la Croix-Rouge Togolaise, (2014). Selon le rapport annuel de l'UNICEF (2016), le taux de mortalité des enfants de moins de 5 ans est de 13% lié aux problèmes d'assainissement et d'insalubrité.

La construction des infrastructures d'eau et assainissement, dont les stations de traitement de boues de vidange en utilisant des techniques de traitement comme, des lits de séchage non-plants ou plantés. Ces techniques sont caractérisées par la mise en place de massifs

filtrants, dispositif simple et perméable qui, une fois chargé de boues, drainent la partie liquide et permet à la boue de sécher par évaporation. Approximativement, 50 à 80% du volume des boues percale comme liquide. Les massifs filtrants constituent la base du fonctionnement des lits et sont souvent constitués de 3 couches à savoir (sable ; gravillon ; gravie grossie etc...) d'épaisseurs différentes.

Au Togo, comme partout ailleurs en Afrique sub-saharienne, des efforts sont faits dans la perspective de doter les populations de systèmes d'assainissement adéquat en mesure de garantir leur santé et de protéger leur environnement. C'est dans cette perspective que La ville de Sokodé, 3ème ville du Togo, n'échappe pas à cette situation. Suite à l'appel à propositions de la Facilité Africaine de l'Eau (FAE) pour des projets innovants en matière d'assainissement urbain non-collectif, les autorités communales ont saisi l'opportunité pour soumettre et obtenir le financement de ce présent intitulé « Des Toilettes pour Tous à Sokodé par la Valorisation des Boues de Vidange et le Microcrédit ». Ce projet vise à améliorer les conditions de vie des populations à travers une meilleure gestion des boues de vidange. A travers 4 composantes : (i) la facilitation de l'accès des ménages aux toilettes ; (ii) le rétablissement durable du service de collecte et de transport des boues de vidange ; (iii) le traitement et la réutilisation des boues de vidange ; (iv) la gestion du projet et la capitalisation des informations (Rapport d'évaluation de la FAE, 2013). Spécifiquement dans la composante (iii), est envisagée la construction et l'équipement de la station de traitement et de valorisation des boues de vidange. Elle devra recevoir en moyenne 9600 m³/an de boues et elle comprendre une unité de traitement, une unité de compostage ou de stockage des boues issues du traitement et une parcelle agricole.

Pour assurer le bon fonctionnement de cette station tant sur les aspects techniques, sanitaires et économiques, une démarche de gestion des risques, incluant mesures, critique des résultats et orientations au niveau décisionnel est envisagé à travers la mise en œuvre de ce stage. C'est dans ce cadre que la présente étude a été initiée, avec pour objectif général de contribuer à la gestion durable des boues de vidange dans la ville de Sokodé. De façon spécifique, il s'agit :

- D'évaluer le fonctionnement technique des lits de séchage de la STBV,
- D'évaluer la performance épuratoire des lits de séchage de la STBV,
- D'évaluer la siccité et la qualité hygiénique des boues raclées des lits de séchage de la station,
- Proposer une gestion technique et financière de la station de traitement.

Outre l'introduction, la conclusion et recommandations, le présent document est structuré comme suit : d'une Revue Bibliographique, Matériel et Méthodes et Résultats et Discussion.

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

I. REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Définition de quelques mots et concepts

1.1. Boues de vidange

(Tilley et al., 2009) définissent les boues de vidange (BV) comme étant le terme général pour désigner les boues fraîches (ou partiellement digérées) ou solides résultant du stockage des eaux vannes ou excréta. Sa composition varie significativement en fonction du lieu de sa production, du contenu de l'eau et de son stockage. Les dispositifs d'assainissement au niveau domestique (ou « à la parcelle ») sont par exemple des latrines à fosse simple, étanche ou non, des blocs sanitaires non-connectés aux égouts, des fosses septiques ou encore des toilettes sèches. (Tchonda, 2006)

1.2. Lit de séchage non plante

Les lits de séchage de boues non-plantés sont des bassins peu profonds, remplis de sable et de gravier et équipés d'un système de drainage pour recueillir le percolât. Les boues sont répandues à la surface du lit où elles sèchent. Le processus de séchage est double : une partie de la phase liquide est drainée à travers le sable et le gravier vers le fond du lit et l'autre partie par évaporation de l'eau restante. (Tchonda, 2016)

1.3. Massif filtrant

C'est l'ensemble des matériaux formé de la base à la surface par des couches successives de gravier puis de sable propre et de granulométrie conforme pour réduire les risques de colmatage du lit par les particules fines. La granulométrie des couches est choisie pour éviter la migration des petites particules dans les drains (Dodane et Ronteltap, 2014).

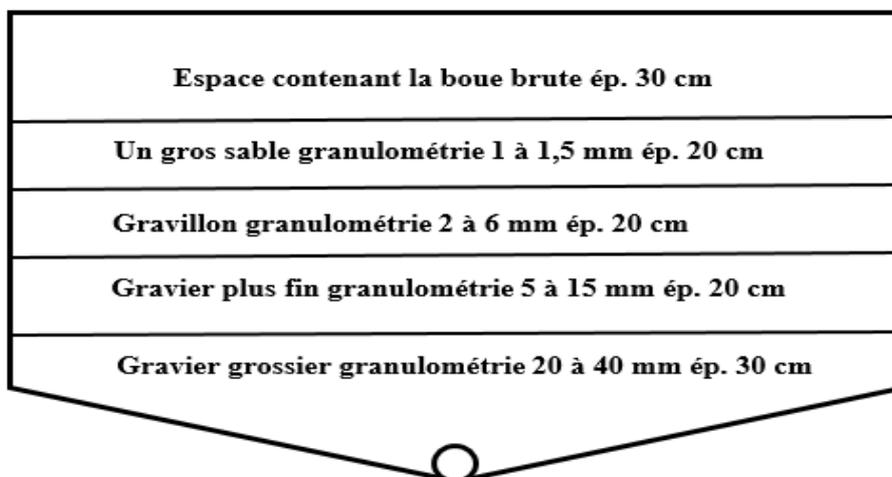


Figure 1:Schéma d'un massif filtrant

2. Problématiques de la gestion des boues de vidange

Les technologies de traitement des boues de vidange issues des ouvrages d'assainissement autonome sont beaucoup plus orientées sur celles qui sont rustiques, moins énergétivore. En effet, le monde traverse une grave crise énergétique, climatique et financière qui s'ajoute aux défis de santé publique dus au manque d'assainissement, les investissements dans ce secteur ne prennent pas encore suffisamment en compte l'impérative nécessité d'optimiser et de réduire les dépenses énergétiques, de valoriser les sous-produits de traitement ou de faire de la gestion de l'assainissement une activité économique à part entière qui participe au développement urbain (Mbéguéré & Koné, 2009).

Les pays comme le Burkina Faso et le Sénégal sont pionnier dans la mise en place de la technologie de lits de séchage non plantés pour le traitement des boues de vidange en Afrique subsaharienne. A Dakar, l'Office National d'assainissement a construit trois stations de traitement à lits de séchage non plantés. A Ouagadougou, l'Office National de l'Eau et l'Assainissement (ONEA) a construit 3 stations de traitement à lits de séchage non plantés. Ces stations sont mises en service depuis 2013. Les données sur leurs performances sont disponibles.

La station de traitement des boues de vidange dans la ville de Sokodé est la première du genre pour le Togo. Elle est conçue sur le retour d'expériences de l'exploitation et de la maintenance de celles de Ouagadougou et de Dakar. Un changement du massif filtrant est porté sur la station de Sokodé par rapport à celles des autres villes. Les pavés remplacent le sable. Cette modification qu'on peut qualifier de majeur dans le dispositif de séparation de la phase liquide de la phase solide dans le traitement des boues suscite un suivi de performance d'où, l'intérêt de ce stage sur la station dans la ville de Sokodé.

3. Situation de l'accès aux ouvrages d'ANC

Avant 2013, année de démarrage du projet, l'accès aux toilettes appropriées (fosse septique ou étanche et quelques latrines ECO-SAN) ne concerne que 36 % des ménages de Sokodé dont 359 ont pu bénéficier de fosse septique grâce à l'association locale N'kotchoyem. Environ 30% de la population ne disposent que de latrines type traditionnel et la défécation dans la nature est pratiquée par 34 % des ménages, particulièrement ceux des vieux quartiers au cœur de la ville (Didaouré, Kossobio, Barrière, Kouloundè et Komah). Ces vieux quartiers à forte densité d'habitat et aux rues étroites regroupent plus de 60 % de la population (60'300 habitants en 2012). Aujourd'hui, le projet TTS a construit plus 955 toilettes à fosse étanches dans les vieux quartiers (PDA Togo, 2015).

3.1. Situation de la collecte et du transport des boues de vidanges

Avant le projet, les ménages disposant de toilettes font recours à deux modes de vidange. La vidange mécanique, assurée avant 2007 par un opérateur privé basé à Lomé (350 km de Sokodé) à raison de 18.000 FCFA/Tour. Le projet a acquis un camion de vidange de capacité de 10 m³. La vidange manuelle assurée par les particuliers à raison de 6000 à 8000 par fosse vidangée.

3.2. Situation de traitement des boues de vidange

Jusqu'en 2013, les boues collectées mécaniquement étaient déversées le long de la rivière Kpodjo, dont les eaux sont utilisées pour l'irrigation, la baignade et pour certains besoins domestiques (lessive, vaisselle). Depuis 2018, la station de traitement a été construite dans le cadre du projet TTS.

3.3. Recyclage de boues non traitées

Avant l'implantation de la station de traitement, certains agriculteurs sollicitaient le déversement des boues fraîches sur leurs parcelles d'exploitation agricole. Par la suite, les boues déshydratées étaient périodiquement collectées par des maraîchers. Autrement dit, il existe un marché potentiel de boues de vidange traitées à Sokodé.

4. Conséquences d'une mauvaise gestion des boues de vidange

4.1. Risques sanitaires

L'évacuation des matières fécales humaines sans précaution et sans hygiène entraîne la contamination du sol et des sources d'eaux superficielles et même souterraines. Les excréta, dans le cas particulier des boues de vidange, peuvent contaminer les populations par voie orale, par respiration ou par hôtes intermédiaires (Koanda, 2006). L'homme peut donc être infesté en étant en contact avec des milieux contaminés ou avec les boues de vidange qui renferment tous les organismes infectieux excrétés avec les fèces. Les ouvrages de l'ANC, notamment les latrines traditionnelles, les fosses septiques et les latrines améliorées mal dimensionnées et mal construites, représentent des sources de pollution diffuse et densément disséminées dans l'espace urbain. Le mode de vidange de ces ouvrages et de dépôtage dans la nature et dans les champs sans traitement au préalable entraîne aussi bien des risques chez les opérateurs de vidange qu'auprès des riverains, principalement les enfants et les ré-utilisateurs (maraîchers et cultivateurs) (Cissé, 2011).

4.2. Risques environnemental

L'apport d'eaux usées domestiques non traitées et donc de boues de vidange, dans le milieu naturel, peut en perturber sensiblement l'équilibre écologique et en modifier la faune et la flore.

Ces effets sont particulièrement manifestes dans le cas de rejets dans les eaux de surfaces. En effet, l'apport de matière organique entraîne un développement d'une flore bactérienne spécifique qui s'en nourrit et qui consomme rapidement tout l'oxygène (Sonko, 2008). L'épandage des eaux résiduaires sur le sol va aussi changer les propriétés physiques et chimiques des sols. Les sols irrigués avec de tels effluents d'une part, deviennent plus acides et d'autre part, montrent une valeur élevée du SAR (Sodium Absorption Ratio) entraînant la substitution des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} par l'ion Na^+ . Ce phénomène est à l'origine de la salinité des sols (Yala et al., 2017).

4.3. Risques esthétiques

Le rejet d'eaux résiduaires brutes ou de boues de vidange dans la nature, sur des terrains vagues ou dans des eaux superficielles entraîne des nuisances tant pour la vue que pour l'odorat par un dégagement d'odeurs nauséabondes surtout en périodes chaudes. Cette nuisance esthétique, sans doute la moins dangereuse pour la santé est la moins évidente et la moins acceptée par les populations (E. hadji M. Sonko, 2008).

5. Cadre Institutionnel et Réglementaire sur les boues de vidange

La Loi-Cadre N° 2008-005 du 30 mai 2008 portant Code de l'Environnement concernant l'assainissement en ce sens qu'elle contient des dispositions relatives aux rejets de substances polluantes. Cette loi précise notamment les mesures de protection de l'environnement, des eaux Continentales, ainsi que les conditions matérielles et techniques de stockage, de traitement et d'élimination des déchets urbains, industriels et des formations sanitaires. Elle définit la typologie des déchets urbains, dans lesquels sont inscrites les eaux usées domestiques et les excréta. La Loi impose que les collectivités territoriales assurent notamment l'élimination des excréta et des eaux usées sur l'étendue de leur territoire en collaboration avec les services publics ou privés chargés de l'hygiène et de l'assainissement (PEA-OMD – Togo – Guide, 2016).

La Loi N°2007-011 du 13 mars 2007 relative à la décentralisation et aux libertés locales Au Togo indique la responsabilité et le rôle central des communes dans la mise en œuvre de la politique nationale d'hygiène-assainissement. Elle stipule notamment que sont confiées aux collectivités territoriales les attributions suivantes :

- Collecte et traitement des eaux usées et excréta ;
- Réglementation relative à la protection de l'environnement.

Toutefois aucune des lois n'aborde de façon spécifique le sous-secteur de l'assainissement, ce qui ne facilite pas les interventions dans ce sous-secteur. A l'heure actuelle, le traitement des boues de vidange (BV) est un domaine naissant. Il n'existe pas encore une réglementation spécifique en matière de gestion des boues de vidange au Togo, mais à défaut des textes spécifiques pour les boues de vidange, les textes relatifs aux eaux usées et excréta peuvent servir de guide (PEA-OMD – Togo – Guide, 2016). 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 I ci-dessous.

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

Technique de réutilisation	Œufs d'helminthes (Œufs/litre)	Coliformes fécaux (UFC/100mL)
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
Irrigation non restrictive (plantes comestibles, terrain de sport, parcs publics)	≤ 1	≤ 1000

Ainsi, la concentration limite de coliformes fécaux considéré 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).

6. Techniques de traitement des boues de vidanges

Les boues de vidange sont des matières extrêmement chargées en germes pathogènes pour l'homme et l'environnement donc nécessite à cet effet un traitement avant leur rejet dans un milieu naturel. Elles exigent un traitement qui leur est propre. En effet selon (Klingel et al., 2002) : Il existe plusieurs techniques de traitement des boues de vidange ainsi indiqués sur la figure 1 ci-dessous :

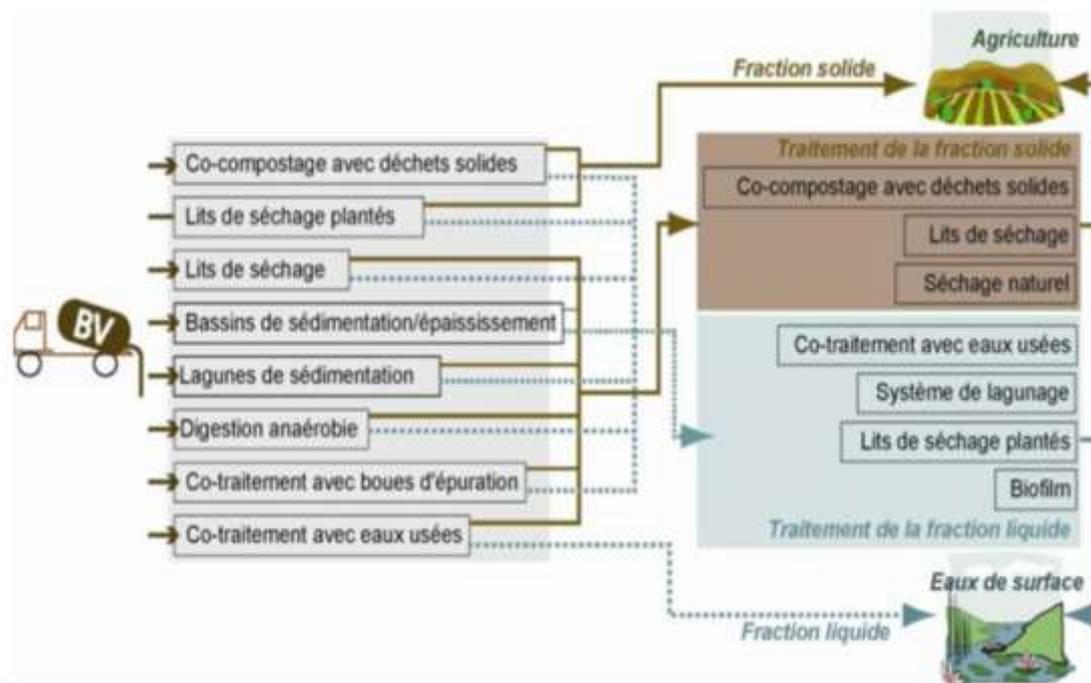


Figure 2: Vue d'ensemble des technologies de traitement à faible coût des boues de vidange et les combinaisons envisageable (Klingel et al., 2002)

Parmi ses techniques les plus utilisées sont (Djékpé, 2016):

- ✚ Lit de séchage planté
- ✚ Lit de séchage non plante
- ✚ Bassin de sédimentation/épaissement

Voici résumé dans le tableau ci-dessous les caractéristiques des trois techniques de traitement des boues de vidange cités plus haut.

Tableau II: Comparaison de certains techniques de traitement de boues de vidange

Technique de traitement	Avantages	Inconvénients	Concept et dimensionnement
<p>Lit de séchage non planté Les lits de séchage de boues non-plantés sont des bassins peu profonds, remplis de sable et de gravier et équipés d'un système de drainage pour recueillir le percolât.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Une faible teneur en eau des boues séchées - Une assez bonne qualité de percolât (par rapport au surnageant des systèmes de sédimentation) - Une faible demande en capacités financières pour l'implantation et la gestion comme toute autre technologie, 	<ul style="list-style-type: none"> - 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 (Youssef A. L., 2017) - Possibilité de colmatage du massif filtrant ou de mauvaises odeurs suite à une mauvaise gestion comme le surcharge hydraulique (Bali M., 2018) - Drainage lente des boues 	
<p>Lit de séchage planté Les lits de séchage plantés (LSP), parfois aussi appelés « lits de déshydratation plantés », « lits de séchage plantés de roseaux » ou « lits d'humification plantés » sont des bassins constitués de matériaux granulaires poreux (par exemple du sable et du gravier) dans lesquels des macrophytes émergents sont plantés.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Ils favorisent une déshydratation, une stabilisation et une hygenisation simultanée des boues en une seule étape de traitement, ce qu'aucune autre technique ne réalise. - Le percolât est de meilleure qualité qu'avec les autres techniques de traitement primaire. -Les boues déshydratées peuvent être utilisées pour l'agriculture sans aucun autre traitement. 		<p>Prévoir un franc-bord de 1m pour l'accumulation des boues. Les meilleures performances ont été obtenues pour un chargement de 250 kg de MS par m² et par an. La couche d'accumulation est alors d'environ 20 cm de boues par an.</p>
<p>Bassin de sédimentation /épaississement</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Les bassins de décantation et d'épaississement sont 	<ul style="list-style-type: none"> - Ne convient pas au traitement des BV fraîches. 	<p>La taille des bassins est conditionnée par l'intervalle choisi</p>

<p>Les bassins de décantation et d'épaississement sont utilisés pour séparer les fractions solide et liquide des boues de vidange. Le procédé fonctionne sur le principe de la décantation, tout d'abord mise en œuvre pour le traitement primaire et secondaire des eaux usées dans les stations d'épuration et également utilisée pour la séparation solide-liquide dans les fosses septiques. Les bassins de décantation et d'épaississement pour le traitement des boues de vidange sont des ouvrages rectangulaires</p>	<p>efficaces en tant que première étape de traitement pour réaliser une première séparation solide-liquide.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ils sont relativement robustes et permettent une réduction du volume de boues à traiter dans des étapes ultérieures 	<ul style="list-style-type: none"> - Le manque de retours d'expérience pour le traitement des boues de vidange, de données empiriques et de résultats sur lesquels baser la conception - La fraction liquide reste fortement concentrée en MES et en matières organiques - La réduction des germes pathogènes est faible. Les produits sortants des bassins ne peuvent pas être déversés dans l'environnement ni utilisés directement en agriculture 	<p>pour le soutirage des boues (2 semaines à 2 mois) et est calculée à l'aide du volume de boues sédimentées en fonction de la charge massique des solides en entrée compris entre 5 et 9 l/kg MS.</p>
--	---	---	--

6.1. Principe de traitement sur lit de séchage non planté (LSNP)

Les boues sont déversées dans l'ouvrage de réception puis passe par les grilles pour assurer le prétraitement par rétention des matières grossières. Un prétraitement est toujours nécessaire on ne peut en faire l'économie. Elles sont ensuite acheminées sur le massif filtrant. Une partie des boues traverse le filtre en subissant un traitement physique (filtration), chimique et biologique (biomasse sur un support fin). On observe une déshydratation de la boue par infiltration-percolation-drainage de l'eau contenue dans la boue à travers le filtre et une partie par évaporation. L'effluent est drainé dans la couche de gravier inférieure et récupéré par des drains. En fonction de la qualité de boues de vidange généralement 50% et 80% environs du volume des boues percolent dans le filtre et doivent être traitées avant d'être rejetées (Tilley et al., 2014). L'alimentation du lit est interrompue durant la phase de repos, ainsi au bout d'un certain temps l'infiltration-percolation-drainage s'arrête et la boue se déshydrate par évaporation. Après atteinte du niveau de déshydratation souhaité, les boues résiduelles sont retirées de la surface du filtre manuellement ou mécaniquement avant un nouveau cycle. Les boues résiduelles enlevées sont soumises à un traitement supplémentaire (séchage, réduction des agents pathogènes) en fonction de l'usage finale prévu. Après 5 à 10 alimentations des lits.

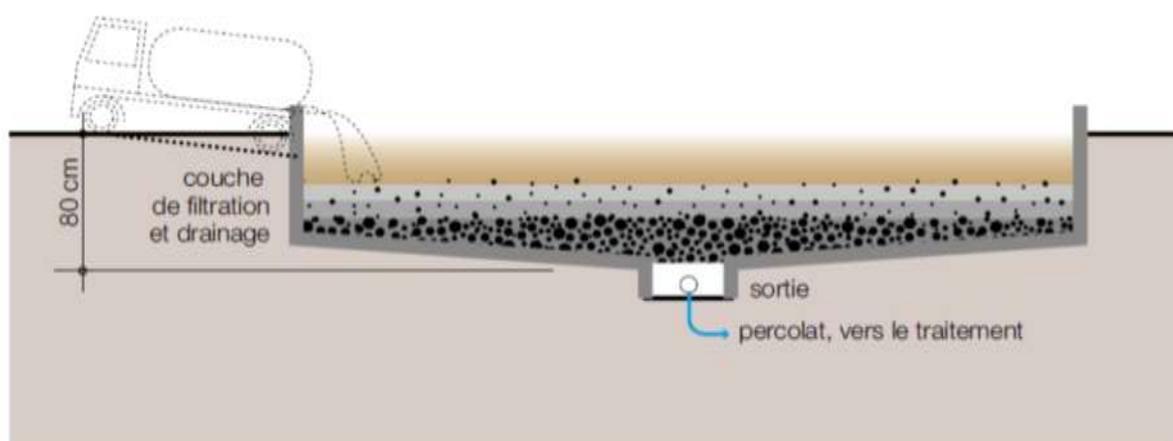


Figure 3: Schéma de principe d'un lit de séchage de boues non-planté (Tilley et al., 2014).

6.2. Lois de l'infiltration / percolation

L'infiltration est le passage de l'eau à travers les couches superficielles du sol, lorsque celui-ci reçoit une averse ou est exposé à une forte submersion. Ce processus est suivi par la percolation qui représente le mouvement de l'eau, essentiellement vertical, sous la seule influence de la pesanteur vers les horizons profonds. Ce principe naturel est aujourd'hui reproduit sur des lits dans le cadre de l'épuration des eaux usées surtout de la rétention de MES. Si les MES à retenir ont une dimension supérieure à celle des pores, elles sont retenues par tamisage mécanique à la

surface du filtre ; la filtration est dite en surface ou en gâteau ou encore en support. Dans le cas contraire, les particules sont retenues à l'intérieur de la masse poreuse et la filtration est dite en volume ou en profondeur ou encore sur lit filtrant (Degrémont, 2005).

Dans les deux cas, les phénomènes d'écoulement d'un liquide dans un milieu poreux saturé sont régis par la loi de Darcy (Degrémont, 2005). Cette loi stipule que la perte de charge P est proportionnelle à la vitesse de filtration v (rapport du débit instantané Q à l'unité de la surface), le coefficient de proportionnalité K étant fonction de la viscosité dynamique η et de la résistance du milieu (Degrémont, 2005). Dans ce cas, la vitesse de percolation sera plus faible pour les boues ayant une viscosité plus élevée.

$$v = \frac{P}{\eta \times R} = K$$

Dans le cas qui nous concerne c'est-à-dire la filtration sur un support d'un liquide boueux avec formation d'un gâteau d'épaisseur croissante, la résistance R comprend deux résistances en série : d'une part, la résistance R_g du gâteau et d'autre par la résistance R_m de la membrane (Degrémont, 2005).

$$R = R_g + R_m \quad \text{Avec} \quad R_g = \frac{r \times M}{S} = \frac{r \times W \times V}{S}$$

Avec :

M = masse totale du gâteau déposé

W = masse déposée par unité de volume du filtrat

V = volume du filtrat au bout d'un temps T

S = surface de filtration concernée

r = résistance spécifique à la filtration du gâteau sous pression P

Donc on a :

$$v = \frac{1}{S} \times \frac{dV}{dt} = \frac{P}{\eta \left(\frac{r \times W \times V}{S} \times R_m \right)}$$

Cette résistance double va alors entamer fortement la vitesse de filtration. Cette dernière va donc diminuer selon que l'épaisseur de la boue qui se forme est importante. Dans ce cas on peut aisément envisager une interdépendance entre la vitesse de percolation et la vitesse de sédimentation des boues.

6.3. Performance épuratoire des LSNP

Les lits de séchage non-plantes peuvent offrir des taux d'abattement de la pollution assez intéressantes pour certains paramètres. Ainsi, des études faites au Ghana par Cofie et al., (2006) ont révélée des rendements de dépollution de 95 % pour les MES, 70 à 90 % pour la DCO, de 40 à 60 % pour l'azote et 100 % pour les œufs d'helminthes. Le percolât, malgré cet abattement important reste encore chargé. En effet, Koné et al., (2016) ont décrit des concentrations de 500 à 1000 mg/L, 400 à 600 mg/L et 300 à 1500 mg/L pour respectivement les MS, la DCO et l'azote dont les abattements étaient de 80%,70%, et 50%. Ces résultats ont été obtenus sur un mélange de boues fraîches et de boues de fosses septiques (ratio 1:1). Des études faites au Burkina Faso par Djékpé, (2016) donnent des rendements de dépollution de 87,51% pour les MVS, 73,74% pour les MS, 71,42% pour les MES et 52,67% pour la DCO. Les boues déshydratées peuvent être directement mises en séchage ou soumises à un traitement d'hygénisation si une valorisation agricole est envisagée. Ces boues sont très faiblement hygiénistes car contenant 100% des œufs d'helminthes retenus à la surface du filtre Le traitement hygiénique le plus adapté est le co-compostage. Quel que soit le type de lit utilisé la technologie de la filtration des boues obéit au principe d'infiltration-percolation. L'utilisation du sable dans la constitution du massif filtrant donne de bons rendements épuratoires, cependant ce massif filtrant est confronté à un risque élevé de colmatage dû à la qualité de sable et la granulométrie. Un phénomène auquel font face la plupart des STBV de la sous-région. Ainsi les photo ci-dessous montrent le cas de la station de Zagtouli à Ouagadougou au Burkina Faso.



Figure 4: Aspect des lits de séchage surchargés et colmatés de la STBV de Zagtouli (Tagba, 2018)

➤ Les caractéristiques du sable à utiliser

Le sable utilisé sur les filtres est du sable de mer de couleur beige (Sonko, 2008). Les grains sont ronds et mêlés à de petits débris de tests de mollusques. Ce sable est propre et est à base

de silice. Il est exempt de poussière, de matière organique et d'argile (E. hadji M. Sonko, 2008). La couche de sable à une épaisseur de 20 cm et une granulométrie comprise entre (0,09-8 mm)



Figure 5: Sable de mer utilisé comme filtre sur les lits

➤ **Avantages et inconvénients du sable**

Tableau III: Avantages et inconvénients de l'utilisation du sable comme composant du massif filtrant

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• L'utilisation du sable donne un percolât claire car la porosité permet de retenir plus de particules (Sonko, 2008)• Le sable favorise l'élimination de certains parasites des helminthes éliminés à 100% (Sonko, 2008)• Le sable donne une bonne performance d'épuratoire	<ul style="list-style-type: none">• L'utilisation du sable rend le raclage des boues seche difficile car la surface n'est pas stable donc manœuvrer la brouette est complique• En raclant les boues le sable est emporté avec, cela diminue l'épaisseur de la couche de sable. A la station de Cambérène à Dakar, on mesurait une perte de 5 cm de sable après 25 cycles de séchage (Badji, 2008)• Il doit avoir du sable sur place pour combler le manque après raclage des boues secs cela occasionne des dépenses lors de l'exploitation• Problème de colmatage du massif filtrant est fréquent lorsqu'on utilise le sable dans sa composition.

7. Cadre d'étude

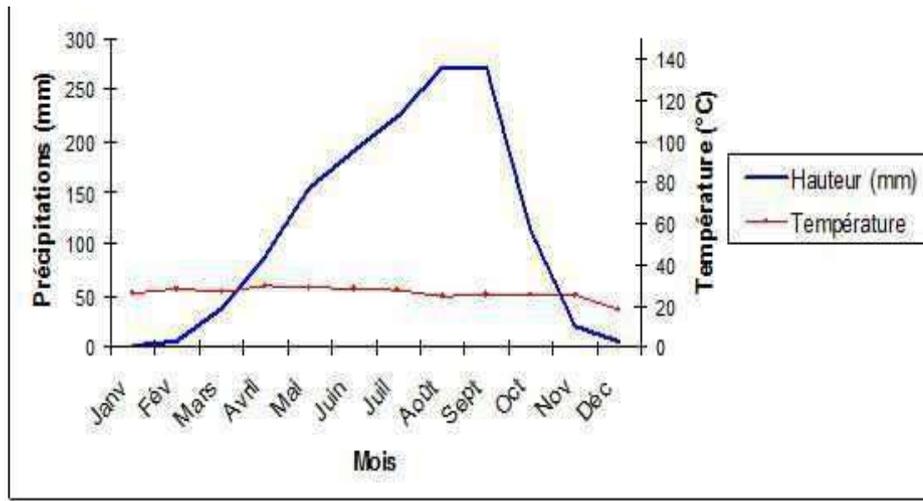
7.1. Géologie et sols

Le substratum géologique de la ville de Sokodé est constitué essentiellement de roches métamorphiques : micaschistes, gneiss à deux micas, à biotite et à biotite amphibolique, marbres dolomitiques quartzites et migmatites diverses à faciès d'embranchite ou d'anatexie du Dahoméen. Au niveau des sols, en raison de la nature de la roche-mère, du modelé et du processus pédologique, les sols sont caractérisés par des formations pédologiques diversifiées. Sur le plan pédologie, trois faciès pétrographiques peuvent être distingués :

- Des sols ferrugineux tropicaux lessivés sur une profondeur variable,
- Des sols ferralitiques,
- Des sols hydromorphes dans les cours d'eau.

7.2. Climat

Le régime climatique de la ville de Sokodé est de type tropical contrasté (tropical sec) marqué par deux saisons : une saison sèche d'octobre à avril qui alterne pendant quelques semaines avec l'Harmattan, un vent sec du Nord-Est et une saison des pluies de mai à septembre. La saison sèche est marquée par un vent froid et sec appelé Harmattan, qui souffle à une vitesse allant de 3 à 7 m/s et est généralement accompagné de poussière. Le module pluviométrique varie entre 1200 et 1300 mm La température moyenne atteint 28° C. Elle peut descendre à 22 et 24° C en saisons humides (Figure5). Les mois les plus chauds sont février, mars et avril avec des maximas dépassant 40 °C, alors que les mois les plus frais de l'année sont juillet et août. L'humidité de l'air est à son minimum en saison sèche et peut chuter jusqu'à 18% en janvier et février. A l'opposé, l'insolation est à son maximum avec une durée moyenne de 8 à 9 heures par jour. L'évapotranspiration moyenne est de 1.650 mm/an. Sur le plan mensuel, elle y est à son faite en saison sèche allant de 150 à plus de 200 mm en janvier et février. C'est la période de l'Harmattan.



Source des données : Direction Générale de la météorologie nationale (2014).

Figure 6: Courbe Ombrothermique de Sokodé (2003-2013)

Au cours de la saison pluvieuse, l'humidité de l'air s'accroît de plus en plus jusqu'à un maximum de 99% voire 100%. A contrario, l'insolation chute à environ 4 heures par jour. La température moyenne est de 25°C avec des maxima et minima de 30 et 20°C respectivement.

MATERIEL ET METHODES

II. MATERIEL ET METHODES

1. Présentation et localisation de la zone d'étude

Sokodé est situé à 350 km au nord de Lomé, sur le principal axe routier du Togo, la route nationale N°1 qui draine les principaux flux humains, économiques, socioculturels à travers le pays. Cet axe routier est le même qui dessert les pays de l'hinterland (Burkina Faso, Niger, Mali) à partir du port de Lomé qui constitue leur débouché sur la mer. La Région Centrale, dont Sokodé est le chef-lieu qui couvre une superficie de 13.317 km², est une des cinq régions économiques du Togo. Elle a une population de 577.629 habitants et se compose des préfectures de Tchaoudjo, Tchamba, Sotouboua, Blitta, et Mô. La région centrale, comme l'indique sa dénomination occupe le centre géographique du Togo, terre de contact entre les populations du Nord et du Sud, elle est également un lieu de brassage entre les diverses pratiques culturelles et religieuses du pays. Sokodé est par ailleurs le chef-lieu de la préfecture de Tchaoudjo. Cette préfecture a une population de 177.965 habitants et couvre une superficie de 2.709 km².

La ville de Sokodé, Chef-lieu de la préfecture de Tchaoudjo, est située dans la Région Centrale du Togo, dont elle est en même temps, Chef-lieu. Elle est distante de Lomé, la capitale, de 350 Km et est localisée à 8° 59' 07.94'' de Latitude Nord et 1° 08' 24.03''. La préfecture de Tchaoudjo est limitée au Sud par la Préfecture de Sotouboua, au Nord par la Préfecture d'Assoli, à l'Est par la préfecture de Tchamba et à l'Ouest par la Préfecture de Bassar (PDA Togo, 2015).



Figure 7: Localisation de la STBV de Sokodé

2. Description de la filière de traitement de la STBV de Sokodé

La station de traitement de boues de vidange de Sokodé est constituée de deux grandes sous-unités de traitement à savoir (voir figure 7)

- Première sous-unité : trois séries de lits de séchage non planté plus une aire de séchage des boues raclées sur les lits
- Deuxième sous-unité : un système de lagunage pour le traitement du percolât provenant des lits de séchage.

Des ouvrages de prétraitement constitué d'un système de dégrilleur pour la rétention des éléments grossiers contenus dans les boues. Une piste de circulation dans un sens unique permet la circulation des camions de vidange dans la station pour le dépotage des boues. Les deux entrées dans la station sont sécurisées par deux portes métalliques avec une guérite à l'entrée principale. Un bâtiment technique est mis en place pour abriter un petit laboratoire, une salle de réunion et un magasin pour le stockage des équipements d'exploitation et de maintenance de la station. Les sanitaires sont prévus pour le personnel. La station est alimentée en eau potable par un forage actionné par l'énergie solaire. Voici résumé dans le tableau IV le principe de traitement des boues de vidange de la station de Sokodé.

Tableau IV: Principe de traitement des boues de vidange à la STBV de Sokodé

Séparation liquide-solide	Traitement de la phase solide	Traitement de la phase liquide
Lits de séchage non plantés	Séchage naturel pendant plus de 6 mois	Traitement par lagunage et rejet dans le milieu naturel

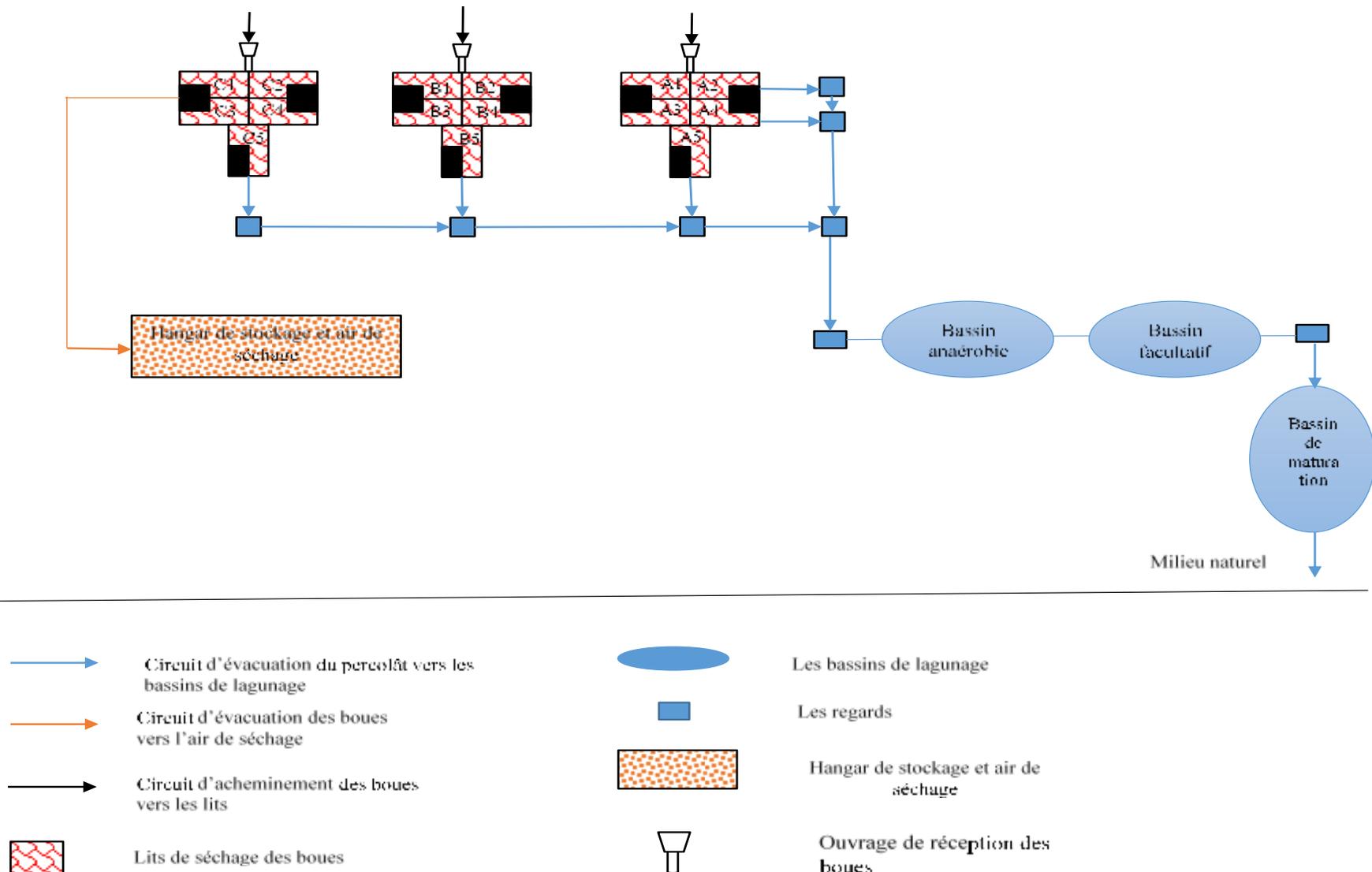


Figure 8: Vue d'ensemble de la STBV de Sokodé

3. Description de lit de séchage de la station de Sokodé

Le lit de séchage de la station de Sokodé est conçu et dimensionné comme un lit de séchage classique sauf que la dernière couche de sable est remplacée par les pavés posés sans fermeture des joints.

- Une couche superficielle de pavés de 10 cm d'épaisseur ;
- Une couche de gravillon d'épaisseur de 30 cm avec les tailles 5-10 mm ;
- Une couche de gravier grossier d'épaisseur 40 cm avec les tailles 10-40 mm

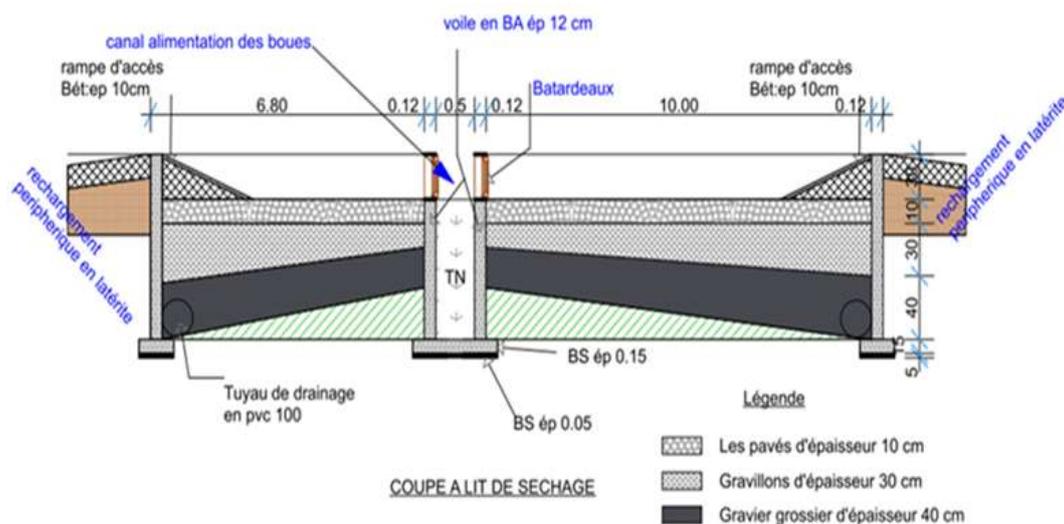


Figure 9: Coupe d'un lit de séchage de la STBV de Sokodé

➤ Caractérisation des pavés

Les pavés sont un matériel utilisé en génie civil pour le revêtement des voies néanmoins, ce matériel est utilisé de nos jours dans les stations de traitement des boues de vidanges (STBV) en remplacement du sable dans la composition du massif filtrant pour résoudre un problème de colmatage auquel est confronté la plupart des stations de traitement de boues de vidange à lits de séchage non plantés de la sous-région. La fabrication de ce matériel se fait en mélangeant des matériaux tels que : Le ciment, le gravier, le sable et l'eau. Ce matériel est imprimé à l'aide d'une moule après le mélange de ces éléments en suivant un dosage bien défini c'est le béton. Après fabrication des pavés ils sont disposés dans les lits de séchage comme l'indique la figure 9.



Figure 10: La pose de pavés dans les lits de séchage (Tagba, 2018)

4. Évaluation du fonctionnement des lits de séchage non-plantés de la station de traitement des boues de vidange de Sokodé

4.1. Calcul du Taux de charge

La charge Hydraulique de la station est le rapport du débit reçu sur la capacité hydraulique nominal de la station. Elle s'exprime en % de la capacité nominal

$$T_c = \frac{\text{Volume reçu en 24 h}}{\text{capacité nominal}}$$

4.2. Calcul de la charge organique

La charge organique de la station est le rapport de la pollution reçue sur la capacité nominale de la station. Elle s'exprime en mg/l :

$$C_o = \frac{(DCO + 2 * DBO_5)}{3}$$

4.3. Détermination de la Charge admissible

La charge admissible en boues est exprimée en kg de MS/m²/an. Elle représente la quantité de matières sèches qui peuvent sécher sur 1 m² de lit par an. La conception ainsi que le fonctionnement du lit de séchage sont assez simples, mais nécessitent un choix de charge admissible adapté ainsi qu'une bonne répartition hydraulique des boues sur la surface du lit (Dodane et Ronteltap, 2014).

$$C_a = \frac{\text{Charge annuelle total MS}}{\text{Surface total des lits}}$$

4.4. Détermination du débit d'entrée et de sortie du percolât des lits

Pour déterminer le débit d'entrée des boues brutes au niveau de l'ouvrage de réception nous avons observé 8 tours de dépotage du camion tout en relevant les temps à l'aide d'un chronomètre ensuite nous avons calculé le temps moyen de dépotage de 10 m³ de boues brute. La détermination du débit de sorti du percolât a été fait à l'aide d'un chronomètre et un seau d'eau de capacité 20 l. Ainsi nous avons recueilli dans ce seau 6 l de percolât en 13,37 s, en exprimant le volume du percolât en fonction du temps exprimons la capacité de percolât recueilli par unité de temps.

4.5. Calcul de la surface d'infiltration du percolât dans les lits de séchage

La détermination de la surface d'infiltration du percolât après la pose des pavés à l'intérieur des lits de séchage va se faire de la manière suivante :

- Détermination de surface d'un pavé avec la formule :

$$S_p = (\text{long} \times \text{larg})$$

- Détermination de surface d'un lit avec la formule :

$$S_l = (\text{long} \times \text{larg})$$

- Compter le nombre de pavés disposés à l'intérieur d'un lit
- Détermination de surface de la rampe avec la formule :

$$S_r = (\text{long} \times \text{larg})$$

- Détermination de surface totale occupée par les pavés dans un lit de séchage avec la formule
$$S_{tp} = (S_p \times N_{bp})$$
- Détermination de surface d'infiltration dans un lit avec la formule :

$$S_i = (S_l - (S_r + S_{tp})) \text{ D'ou : } S_{it} = S_i \times N_{bl}$$

S_r = surface de la rampe, **S_p** = surface du pavé, **S_l** = surface d'un lit, **S_{tp}** = surface totale occupée par les pavés dans un lit de séchage, **N_{bp}** = Nombre de pavés, **S_i** = surface d'infiltration, **S_{it}** = surface d'infiltration totale au niveau des lits, **N_{bl}** = Nombre total de lits sur la STBV.

5. Evaluation de la performance épuratoire des LSNP de la STBV

5.1. Echantillonnage

Un échantillonnage composite des boues brutes et percolat est adopté et des mesures sont réalisées sur une période de 2 mois (du 15 juillet au 17 septembre 2018). L'analyse des échantillons a été effectuée au laboratoire de chimie des eaux de l'Université de Lomé (UL) et au Laboratoire Microbiologie et de Contrôle de Qualité des Denrées Alimentaire (LAMICODA) de l'Ecole Supérieur de Techniques Biologique et Alimentaire ESTBA de l'UL. Les prélèvements ont été faits à la sortie au niveau des regards et lors du dépotage dans chaque lit pour les paramètres physico-chimiques et microbiologiques. La première rangée de lits de séchage est constituée de 5 lits codés 1, 2, 3, 4 et 5 correspondant à des volumes respectifs de boues de vidange 70 m³, 60 m³, 50 m³, 40 m³ et 30 m³. et à des charges massiques respectives de 291,13 KgMS/m² /an ; 269,5 KgMS/m² /an ; 244,14 KgMS/m² /an ; 204,19 KgMS/m² /an ; 187,17 KgMS/m² /an à raison respectivement de 4jrs, 3jrs, 3jrs, 2jrs et 2jrs de recharge des lits.

$$C_m = \frac{V_a \cdot [MS]}{S_l} \text{ avec } V_a = \text{volume annuel de boues, } S_l = \text{surface de lit, } [MS] = \text{Matière sèches}$$

6 échantillons de boues brutes et 6 échantillons de percolât ont été prélevés au niveau de chaque lit, donc un total 30 échantillons de boues brutes et 30 échantillons de percolât. Les échantillons ont été prélevés avec un seau et transvasé à l'aide d'un entonnoir dans des flacons de 1L. Pour les paramètres microbiologiques les analyses sont faites sur les échantillons de boues brutes et de percolât de chaque lit de séchage.

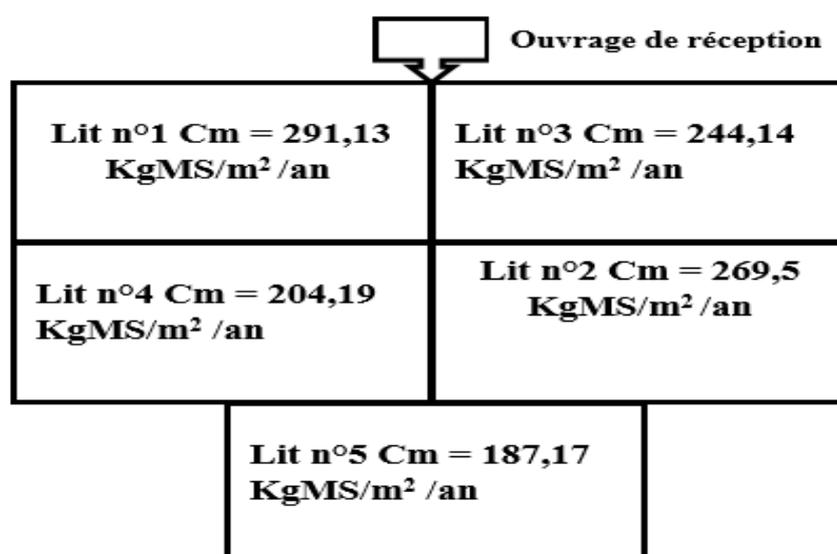


Figure 11: Schéma montrant la disposition des lits et les charges d'alimentation

5.2. Prélèvement

Une fois sur la station de traitement des boues de vidange de Sokodé, les boues sont prélevées dès l'arrivée du camion à l'ouverture de la vanne au niveau de l'ouvrage de dépotage. Les boues sont prélevées à l'aide d'un seau prévu à cet effet. Les boues brutes sont prélevées de la manière suivante une quantité au début du dépotage, une à mi-dépotage et une à la fin. Les trois prélèvements sont ensuite mélangés, bien agités et transvasés dans des flacons de 1 litre pouvant contenir deux échantillons. Le percolât est prélevé au niveau du regard correspondant à chaque lit alimenté. Les bouteilles sont ensuite transportées dans une glacière jusqu'au laboratoire. Les échantillons ont été conservés au froid jusqu'au lancement des analyses de laboratoire à Lomé.



Figure 13: Prélèvement des échantillons



Figure 12: Conditionnement des échantillons prélevés

5.3. Analyses des paramètres d'étude des boues de vidanges

5.3.1. Analyses des paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques et organiques retenus pour l'évaluation de la performance des lits de la STBV de Sokodé sont comme suite : T°C, pH, Conductivité, DBO5, DCO, MS, NTK, MES.

Tableau V; Synthèse des différentes méthodes d'analyses des paramètres physico-chimiques

Paramètres	Unités	Méthodes
pH	-	Electrochimie
Température	°C	Electrochimie
Conductivité électrique	µs/cm	Conductimétrie
DCO	mgO ₂ /L	Dichromate de K
DBO5	mgO ₂ /L	Respirométrie
Azote kjedahl (NTK)	mgN/L	Minéralisât/Distillation/Titration
Matières en suspension (MES) après décantation	mg/L	Filtration/Séchage 105°C/Pesée
Matières sèches (MS)	mg/L	Séchage 105°C/Pesée

5.3.2. Analyses des paramètres microbiologiques

Les paramètres microbiologiques retenus pour l'évaluation de la performance des lits de séchage non-plantés de la STBV de Sokodé sont : Coliformes fécaux, Escherichia coli, Streptocoques fécaux, et les Parasites (Œuf d'helminthes).

- Paramètres bactériologiques

Tableau VI: synthese des differentes méthodes d'analyses des parametres bactériologiques

Paramètres	Milieu de culture	Méthode d'ensemencement	Incubation	Aspect des colonies
Coliformes fécaux	Chromoculte coliforme agar	Ensemencement en profondeur	44°C ± 0,5 durant 24h	Bleu, rouge, violet
E. coli	Chromoculte coliforme agar	Ensemencement en profondeur	44°C ± 0,5 durant 24h	Bleu, violet
Streptocoques fécaux	Slanetz et Bartley agar	Ensemencement en profondeur	37°C durant 48h	Rouge

- Paramètres parasitologiques (Œuf d'helminthes) voir (Annexe II) Méthode de Bailenger modifiée par Bouhoum et Schwartzbrod

5.3.3. Rendement épuratoire des LSNP de la STBV

Le rendement épuratoire de la station est le rapport de la pollution éliminée dans la station sur la pollution reçue. Il sert à déterminer les performances d'une station.

Les formules de calcul sont les suivantes :

$$\text{Rendement (\%)} = \frac{\text{valeur entrée} - \text{valeur sortie}}{\text{valeur entrée}} \times 100$$

L'abattement de la pollution microbienne est déterminé par la formule suivante

$$\text{Abattement } A(U\log) = -\log_{10} \left(1 - \frac{R}{100} \right)$$

6. Évaluation de la siccité et de la qualité hygiénique des boues

La siccité représente le pourcentage massique de matières sèches des boues. Pour la déterminer sur les boues en séchage sur les lits, une quantité de boues est prélevée chaque jour, entre 10 heures et 11 heures, pendant toute la durée du séchage arrêtée à 15 jours. Ces 15 jours sont

comptés à partir de la fin de la percolation. L'échantillon de boues est prélevé sur toute l'épaisseur de la masse de boue de manière aléatoire à l'aide de cuillère. Parallèlement à la détermination de la siccité, les paramètres microbiologiques ont été également déterminés. Ainsi, les teneurs en coliformes fécaux, au début et à la fin du séchage, ont été déterminés. Les paramètres parasitologiques ont, quant à eux, été mesurés à la fin du séchage et sur des boues stockées pendant 30 jours.

- Paramètres bactériologiques

La détermination des coliformes fécaux dans les boues séchées se fait par pesée de boues qui sera ensuite diluée. Après dilution on suivra la méthode d'analyse résumée dans le tableau VII.

- Paramètres parasitologiques des boues séchées (Œuf d'helminthes)

Ajouter 25g de boues sèches dans un litre d'eau de robinet puis agiter à l'aide d'un agitateur magnétique et d'un barreau aimanté pour dissoudre. (2 heures environ) laisser au repos (sédiment) pendant 3 h. Récupérer le maximum de surnageant possible, placer le sédiment dans un flacon de centrifugation de 450 ml et centrifuger à 1400 tours/mn pendant 10mn. Récupérer la phase liquide (surnageant) et verser la phase solide (dépôt) dans un volume de 150ml avec du sulfate de zinc de densité 1,3 homogénéiser avec une spatule, Centrifuger à 1050 tours/mn pendant 3 minutes. Verser le surnageant du sulfate de zinc dans un flacon de 2 litres et le diluer avec au moins 1 litre d'eau laisser au repos pendant 3 h et récupérer le maximum du surnageant et suspendre le dépôt en l'agitant et le vidant dans 2 tubes de 50 ml et rincer 2 à 3 fois avec de l'eau distillée centrifuger à 1600 tours/mn pendant 3 minutes et regrouper les dépôts dans un tube 50 ml et centrifuger à 1600 tours/mn pendant 3 minutes. Suspendre à nouveau dans 5 ml d'une solution d'acide acétique et ajouter 10 ml d'éther éthylique ou 5 ml d'acétate d'éthyle secouer et ouvrir occasionnellement pour laisser sortir le gaz et centrifuger à 660 g pendant 3 minutes.

Trois phases se distinguent dans chaque tube, les œufs se concentrent au fond du tube en cône. Éliminer les deux premières phases et laisser 1ml environ. Déposé entre lame et lamelle une goutte d'environ 0,05 ml, observé au microscope puis compter les œufs.

Quantification :

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

V = volume de l'échantillon initial de boue

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

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

6.1. Temps de séchage des boues en fonction de la charge de boues appliquées sur les lits

La détermination du temps de séchage nécessaire des boues de vidange sur les lits de séchage est proposée par Youssef, (2017) sur la base de tests effectués sur différents types de boues, une siccité de 80% est indispensable. Dans cette étude des tests de siccité des boues séchées sur les lits ont été effectués en fonction de la charge de boue appliquée. Lorsqu'on atteint un taux de matière sèche suffisamment élevé (> 80% de MS) pour que la matière soit pelle tables, nous avons procédé au curage des lits qui a duré 2 jours au maximum en fonction de la charge du lit. Enfin nous avons noté le temps de séjour en sommant (temps d'alimentation + temps de percolation + temps de séchage + temps de curage).

7. Gestion technique et financière de la STBV de Sokodé

7.1. Gestion technique de la STBV de Sokodé

La gestion technique consiste à proposer des solutions sur le plan technique pour améliorer ou augmenter les rendements épuratoires de la station. Pour ce faire voici les solutions proposées.

- Une diminution de la surface d'interstice entre les pavés, cela va entraîner une fabrication de nouveaux pavés dont les bordures seront plus régulières et ceci à l'aide des moules bien structurées et dimensionnées.
- Le format des pavés et un facteur à prendre en compte, certains pavés sont plus adhérents et régulières tout en laissant des espaces d'interstices moins grandes permettant de retenir plus de particules
- La modification de la composition du massif filtrant en ajoutant du sable en troisième position avant la disposition des pavés qui constituent la 4^{ème} couche (voir figure 19). On aura ainsi un massif filtrant constitué du bas vers le haut de : une couche de Gravier 30 cm d'épaisseur, de Gravillon de 20 cm d'épaisseur, de Sable 10 cm d'épaisseur et les Pavés 10 cm d'épaisseur.

Ainsi la détermination de la quantité de sable et de pavés nécessaire pour les lits se fait de la manière suivante.

✓ Le sable

La station dispose de 15 lits de séchage dont la surface d'un lit (SI) est de 65 m² et d'une hauteur/épaisseur de la couche de sable (Hs) est de 10 cm.

Avec Vs = volume de sable

$$V_s = 15 * SI * H_s$$

✓ Les pavés

La station dispose de 15 lits de séchage dont la surface d'un lit (Sl) est de 65 m² et de hauteur/épaisseur de la couche de pavés (Ep) est de 10 cm. 1 m² de lit peut contenir 50 pavés de type D (voir figure 18), alors soit Np le nombre total de pavés à fabriquer.

$$N_p = 50 * 15 * S_l$$

7.2. Gestion financière de la station

Pour une meilleure gestion et une pérennité de la STBV, la Mairie de Sokodé en collaboration avec Plan International et avec l'accord de la BAD a créé une fédération pour une gestion technique et financière de la station afin que son fonctionnement soit effectif et durable dans le temps. Cette fédération nommée FeCAQSo (Fédération du Comité d'Assainissement des Quartiers de Sokodé) est chargée de la gestion du camion du projet et de la station c'est-à-dire elle est chargée de la gestion des boues de vidange de la collecte au traitement et à la valorisation des sous-produits de traitement. La gestion financière de la station consiste à faire l'inventaire des dépenses et recettes de la fédération par rapport au camions et à la station.

7.2.1. Dépenses liées aux charges d'exploitation

Elles comprennent les charges du personnel et celles de fonctionnement. Le fonctionnement de la station et du camion sera assuré par un personnel recruté par la fédération. Les salaires du personnel sont détaillés en (Annexe V), ainsi que les factures (électricité, entretien du véhicule...) seront couvertes par un montant forfaitaire inscrit dans le tableau en annexe V.

7.2.2. Evolution du budget nécessaire à la mise en place de la solution proposée

L'évaluation du budget nécessaire pour approvisionner la station en sable de mer se fait de la manière suivante, Nous avons multiplié la quantité en m³ de sable nécessaire pour les lits de séchage par le prix du m³ de sable de mer propose par l'entreprise de construction de la station qui est de 18.000 Fr CFA/ m³. Avec Vs le volume de sable

$$\text{Budget total} = V_s * 18.000 \text{ Fr CFA}$$

L'évaluation du budget nécessaire pour approvisionner la station en pavés de type D se fait de la manière suivante : on multiplie le prix du m² de pavés par la surface totale des lits de séchage de la station. Le m² de pavés de type D est estimé à 8000 Fr CFA donc nous avons :

$$B_g = 8000 * 15 * S_1$$

Avec S_1 la surface d'un lit de séchage.

7.2.3. Les recettes

- **Recettes issues du Bio-solide**

La déterminer la quantité de bio-solide produit par la station par an. Après la détermination de la charge moyenne d'alimentation d'un lit qui est de 40 m³/cycle, pour un cycle de 22 jours donne 16 cycles/an et un nombre de lits à 15, ainsi le volume annuel de boues se calcul par cette formule :

$$V_{ab} = C_{ma} * N_l * N_{ca}$$

Avec : V_{ab} = Volume annuel de boues à traiter ; N_l = Nombre de lits ; N_{ca} = Nombre de cycles annuel. Selon Cofie et al., (2006) pour déterminer la quantité de bio-solide il faut utiliser la relation 0,1 m³ de bio-solide /1 m³ de boues brutes.

Avec V_b = Volume de bio-solide en m³ nous avons

$$V_b = \frac{V_{ab}}{10}$$

Selon Cofie et Koné, 2009 lors du stockage des boues séchées leur volume diminue de moitié et nous avons le rapport 0,5 t/m³ de bio-solide permettant de déterminer la quantité en masse de bio-solide annuelle de la STBV de Sokodé.

Avec M en t et ensuite en Kg.

$$M = \frac{V_{ab}}{2} * 0,5$$

Le nombre de sacs de boues séchées (N_s) de 50 Kg chacun se détermine par la relation suivante :

$$N_s = \frac{M}{50}$$

Au Togo le prix de l'engrais chimique (NPK15-15-15 urée) est compris entre (13700 Fr CFA – 15700 Fr CFA). Nous choisissons de vendre le Kg de boues séchées à 300 Fr CFA à raison de 15000Fr CFA le sac de 50 Kg. Le prix de vent total (P_v) du bio-solide est :

$$P_v = N_s * P_u$$

Avec P_u = prix unitaire du sac, N_s = Nombre total de sacs de bio-solide.

- **Recette de la gestion du camion**

Le volume de boues traité par la station par an est de 9600 m³ étant donné que le camion a une capacité (Cc) de 10 m³ donc nous déterminons le nombre de voyage (Nv) ainsi :

$$Nv = \frac{Vab}{Cc}$$

Pour déterminer la recette de gestion du camion nous allons procéder ainsi :

$$Rc = Pv * Nv$$

Rc = recette du camion par an ; Pv = prix d'un voyage du camion ; Nv = nombre de voyages du camion par an.

Après nous ferons un bilan des recettes de gestion de la station et du camion par la Fédération et ensuite conclure de la rentabilité du projet.

- **Taxes de dépotage**

Nous avons fixé le montant de la taxe de dépotage qui est de 250 Fr CFA par m³ de boues déversées. Pour déterminer la taxe de dépotage annuelle nous avons procédé ainsi :

$$Td = 150 * Vab$$

Td = taxe de dépotage de boues par an ; Vab = volume de boues dépotées par an

8. Traitement des résultats

Une comparaison entre les valeurs d'entrée (boues brutes) et celles de sortie (percolât) nous a permis de déterminer le rendement des lits. Ces rendements seront analysés en fonction de la charge. Le traitement des données qualitatives a été fait manuellement. L'ensemble des données quantitatives collectées et mesurées ont été contrôlées et dépouillées à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2016, Microsoft word 2016 pour la rédaction, Google Earth pour localiser la zone d'étude et Autocard pour les dessins.

RESULTATS ET DISCUSSION

III. RESULTATS ET DISCUSSION

1. Evaluation du fonctionnement des lits de séchage de la STBV de Sokodé

1.1. La Charge Hydraulique

La charge hydraulique sur les lits de séchage est de : 30 cm avec une capacité nominale de 19,5 m³. La charge hydraulique exprimée en % est de 102,6% pour un volume journalier d'alimentation du lit de 20 m³.

1.2. La charge Organique

La charge organique est obtenue avec une teneur en DCO = 3184 mg/l ; en DBO₅ = 2488 mg/l. Ainsi nous obtenons une charge organique de 2720 mg/l.

1.3. La charge admissible

Khelfaoui, (2015) souligne la variabilité des valeurs de charges admissibles et d'épaisseur de couche à considérer lors de la conception, en raison de la forte variabilité des conditions locales (le climat). Il est possible d'indiquer une plage, typiquement entre 100 et 200 kg de MS/m²/an : 100 correspond aux conditions de séchage les moins favorables et 200 aux plus favorables, la valeur de 50 kg de MS/m²/an étant souvent utilisée dans les climats tempérés en Europe pour les boues de stations d'épuration (Mbéguéré & Koné, 2009). La surface prévue d'un lit de séchage était de 65 m² avec un nombre total de 15 lits, pour une charge admissible de 165 kg de MS/m²/an.

1.4. Le débit d'entrée et de sorti

En moyenne le temps de dépotage est compris entre 12 et 15mn cela a permis d'évaluer le débit moyen de dépôt à 12 l/s. Aussi, les boues qu'apportent les camions contiennent des déchets plastiques et divers qui risquent d'obstruer le massif filtrant. Pour déterminer le débit sortant nous avons recueilli dans un seau 6 l de percolât en 13,37 s, en exprimant le volume du percolât en fonction du temps nous aurons un débit de $0,45 \cdot 10^{-3}$ m³/s ou 0,45 l/s. Le débit d'entrée des boues brutes est supérieur au débit de sorti du percolât cela montre une rétention de particules à la surface du massif mis en place dans les lits qui jouent le rôle de filtre, laissant ainsi passer la phase liquide moins chargée à une vitesse réduite. Selon Kouawa (2016) les processus de filtration et de déshydratation font partie des processus qui permettront l'amélioration de la qualité de l'effluent (la diminution des concentrations des paramètres de pollutions) à la sortie du système et traduit ainsi le bon fonctionnement des lits de séchage non-plantés.

1.5. La surface d'infiltration du percolât ou surface d'interstice entre les pavés

Les résultats sont résumés dans le tableau VII.

Tableau VII: Résumé des différentes étapes pour déterminer la surface d'infiltration

Dénominations	Résultats obtenus
Surface d'un pavé	$S_p = 0,046 \text{ m}^2$
Surface d'un de séchage	$S_l = 65 \text{ m}^2$
Nombre de pavés dans un lit	$N_{bp} = 1299 \text{ m}^2$
Surface totale des pavés	$S_{pt} = 59,75 \text{ m}^2$
Surface occupée par la rampe	$S_r = 2 \text{ m}^2$
Surface disponible pour l'infiltration dans un lit	$S_i = 3,25 \text{ m}^2$
Surface disponible pour l'infiltration dans les 15 lits	$S_{it} = 48,75 \text{ m}^2$

Les résultats donnent **3,25 m²** comme surface libre entre les pavés disposés dans un lit de séchage permettant ainsi au percolât de migrer vers les couches plus bas en suite vers les regards puis vers les bassins de lagunage. Pour les 15 lits de séchage nous aurons une surface totale d'infiltration de **S_{it} = 48,75 m²**. La surface d'interstice de **48,75 m²** favorise le mécanisme d'infiltration/percolation, un mécanisme indispensable pour le fonctionnement des lits de séchage non plantés de la STBV de Sokodé.

2. Evaluation de la performance des lits LSNP de la STBV

La performance des lits a été évaluée en comparant les valeurs moyennes des valeurs d'entrée (boues brutes) et de sortie (effluents). Les paramètres physico-chimiques étudiés sont : MS, DBO₅, DCO, NTK et les MES. Les paramètres microbiologiques (coliformes fécaux, Escherichia coli et Streptocoques fécaux) et parasitologiques (œufs d'helminthes) ont été également déterminés dans les boues entrantes, les lixiviats et les boues en séchage.

2.1. Caractérisation des boues

Les résultats issus des analyses des boues de vidange de la ville de Sokodé réalisées au laboratoire de Chimie des Eaux de l'Université de Lomé (UL) sont représentés dans le tableau ci-dessous, avec une concentration moyenne en MS qui tourne autour de 5185 mg/l. Cette valeur ainsi que celle des autres paramètres sont très faibles comparativement aux valeurs mesurées dans d'autres villes du monde (Tableau XI).

Tableau VIII: Caractéristiques physico-chimiques de boues de vidanges de la STBV de Sokodé

paramètres	Max	Min	Moyenne	Ecartype	Coefficient de variation %
T°C	29,7	24,6	27,6	1,35	4,89
pH	7,99	7,15	7,56	0,27	3,57
conductivité µs/cm	8431	6327	7217	540	7,48
MS	6710	4050	5185	786	15,15
MES	1230	735	919	105	11,42
DBO5	4689	1645	2488	707	28,41
DCO	5743	2379	3184	711	22,33
NTK	1300	708	886	139	15,68

Pour tous les paramètres, on constate que les BV de Sokodé sont très peu variables avec des valeurs moins éloignées entre le maximum et le minimum. Cette faible variabilité et cette faible charge des boues de Sokodé peuvent être liées au temps de séjour relativement court des boues dans les fosses.

Tableau IX: Comparaison des Caractéristiques des boues de vidange de quelques localités

PAYS	Sokodé (Togo)	Accra* (Ghana)	Alcorta* (Argentine)	Ouagadougou* (Burkina Faso)	Bangkok* (Thaïlande)	Dakar* (Sénégal)
MS (mg/l)	5185	12000	6000-3500	14937,06	15350 ¹ (2200-67200) ²	3488
DCO (mg/l)	3184	7800	4200	13394,8	15700 (1200-76000)	2126

*Source : El hadj Mamadou SONKO (2008) et Elysée Morel Koffi DJEKPE (2016)

¹Valeur moyenne ² (Valeur minimale-valeur maximale)

Du point de vue hydrogéologique, on peut lier la relative faiblesse de la concentration des BV de Sokodé, surtout pour les valeurs des MS, à une contamination des fosses par les eaux de nappe. Ainsi, La ville de Sokodé se situe dans une vaste plaine à pentes faibles relevée parfois par quelques collines, notamment au niveau du quartier administratif et des quartiers Kpalo-Kpalo et Kpangalam. Les altitudes varient entre 300 et 400 mètres, les entretiens menés à la station auprès des chauffeurs et au niveau des ménages font état d'un envahissement fréquent des fosses par les eaux de la nappe et les eaux de ruissellement après les pluies. Cet envahissement des fosses septiques par les eaux de la nappe est dû selon Mbéguéré (2002) à un

défaut d'étanchéité de celles-ci. Ces phénomènes entraînent non seulement des vidanges fréquentes mais aussi une dilution des boues septiques selon Sonko (2008). Ils influenceraient alors la charge des BV de Sokodé qui seraient moins concentrées.

2.2. Evaluation des performances par rapport aux paramètres physico-chimiques

2.2.1. Capacité épuratoire des lits : Qualité du percolât pour les paramètres physico-chimiques

Le traitement des boues de vidange a donné la qualité de percolât qui peut être observée à travers deux verres identiques représentés par la photo ci-après.



Figure 14: Qualité de dépollution des boues de la STBV de Sokodé

On observe sur cette figure 13 que le traitement des boues par les lits de séchage a permis d'éliminer une bonne partie de la turbidité ; d'où une certaine limpidité des percolât obtenus. Cependant, les analyses chimiques révèlent une certaine charge dans les effluents.

2.2.2. Suivi de la performance épuratoire des lits de séchage non planté en fonction des charges d'alimentation

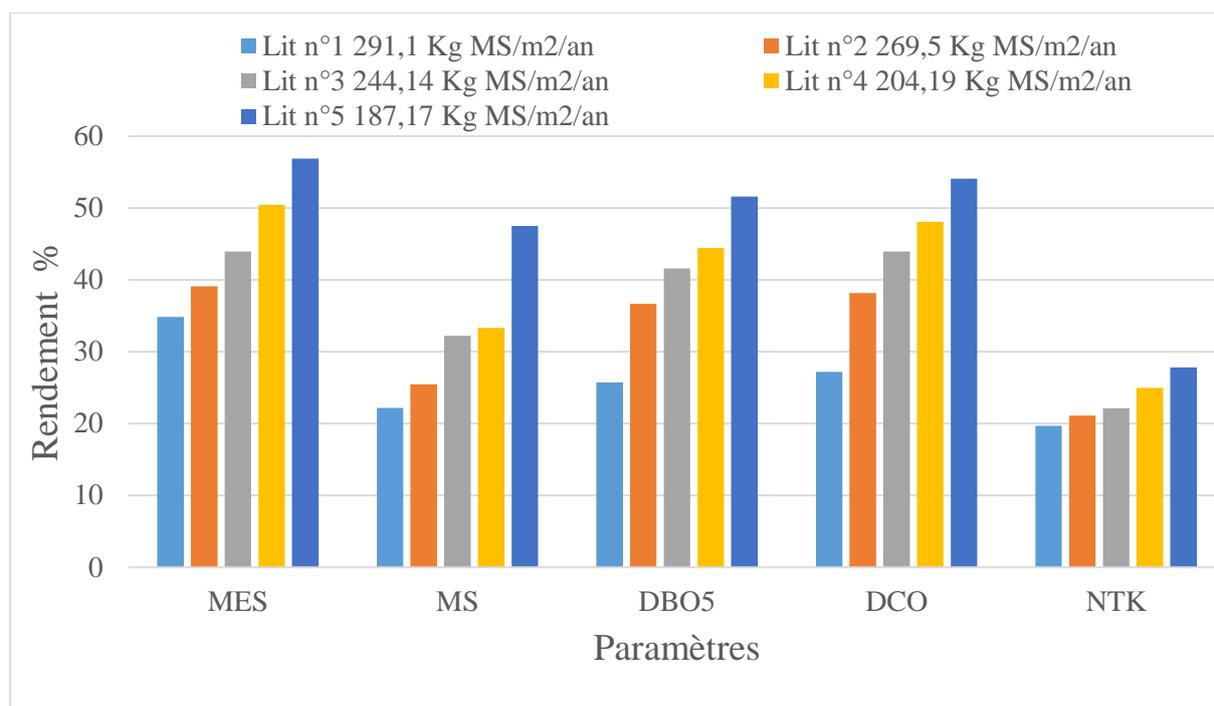


Figure 15: Rendement épuratoire des lits en fonction de la charge

La figure 14 montre que les taux d'abattelements en MES sont très inférieurs quel que soit la charge appliquée à ceux de la littérature qui présentent des valeurs supérieures à 95% (Cofie et al., 2006). Les MES sont éliminés par filtration mécanique, avec une rétention des particules grossières à la surface du filtre et les particules fines entre les pores (M. Koné et al., 2016) sauf que le sable avec des pores fins est remplacé par les pavés dans la composition du massif filtrant. La disposition des pavés dans les lits laisse un espace d'interstice entre ces pavés permettant ainsi le passage de la phase liquide des boues avec des particules grossières. Ce phénomène est indépendant de la charge de boue appliquée. En l'absence d'étude sur la quantité de DCO dissoute, on peut relier ce faible rendement à la mauvaise rétention de MES sur le filtre et draine avec ces particules une partie de la pollution organique dont la DCO particulaire (E. hadji M. Sonko, 2008). Le rendement des lits dans la rétention des MS est très faible et varie entre 21,15 et 47,49 % par rapport aux charges appliquées. On remarque que plus la charge est élevée, plus le rendement est faible. Ces abattements faibles pourraient être liés à un apport supplémentaire de MS issues de la minéralisation de la matière organique qui s'accumule dans le filtre (Koné et al., 2016) et un lessivage abondant en début de filtration.

2.2.3. Rendement moyen des lits de la STBV de Sokodé

Les teneurs de certains paramètres tels que : MES, MS, DCO, DBO5 et les NTK dans les boues brutes et à leurs sorties des lits ont été analysées puis comparées afin de déterminer la

performance épuratoire des lits. Le tableau XII nous donne les rendements moyens épuratoires et les abattements des différents paramètres analysés.

Tableau X: Rendement moyen d'épuration et d'abattement

paramètres	Moyenne boues brutes	Moyenne percolat	Rendement %
MS	5185	3520	32,11
MES	919	504	45,16
DBO5	2488	1470	40,92
DCO	3184	1806	43,28
NTK	886	679	23,36

Ce tableau présente des rendements moyens d'élimination de la pollution compris entre 23,36 et 45,16% de loin inférieurs à ceux de la littérature qui présente des valeurs qui varient entre 40 et 95% (Cofie et al, 2006). La caractéristique granulométrique des boues de vidange issues des fosses septiques toutes eaux réalisée par Vincent (2011) présente des particules variant entre 0,05 μm et 2 mm de diamètre. Notre massif filtrant étant constitué de pavés laisse passer à travers l'espace d'interstice plus de particules grossières. La faible taille de la matière solide des boues de vidange, comparativement au massif filtrant, laisse penser à la performance de filtration relativement faible (Kouawa, 2016).

2.3. Evaluation des performances par rapport aux paramètres microbiologiques

2.3.1. Evolution des paramètres bactériologiques

➤ Elimination des coliformes fécaux

Les teneurs en coliformes fécaux dans les boues brutes et les lexiviats prélevés au niveau des regards de chaque lit sont relevées dans le tableau suivant :

Tableau XI: Abattement des coliformes fécaux au niveau des lits étudiés

	coliformes fécaux UFC/ml	Rendement %	Abattement [ULog]
Boue brute	66000	-	-
lit n°1	1020	98,45	1,81
lit n°2	840	98,72	1,89
lit n°3	590	99,1	2,05
lit n°4	832	98,74	1,9
lit n°5	410	99,38	2,21

Les boues brutes ont une charge moyenne de $6,6.10^4$ UFC/ml. Légèrement inférieur de celle décrite par Sonko et al., (2009) qui sont de $3,6.10^8$ lors de leur étude sur l'évaluation de l'efficacité de séparation liquide/solide des lits de séchage. Dans les effluents, nous avons des charges moyennes bactériennes qui varient entre 410 et 1020 UFC/ml, avec un taux d'abattement avoisinant 2 Ulog. L'élimination de ces colonies se fait essentiellement par sédimentation, diffusion brownienne et par adsorption (Defo et al., 2015). Ces éliminations dépendent essentiellement de la taille des polluants, des mailles du filtre et de la profondeur de celui-ci (Sonko et al., 2009).

➤ **Élimination des Escherichia coli**

Les teneurs en Escherichia coli dans les boues brutes et les lexiviats prélevés au niveau des regards de chaque lit sont relevées dans le tableau suivant :

Tableau XII: Abattement des Escherichia coli au niveau des lits étudiés

	Escherichia coli UFC/ml	Rendement %	Abattement [ULog]
Boue brute	58000	-	-
lit n°1	620	98,93	1,97
lit n°2	580	99	2
lit n°3	420	99,28	2,14
lit n°4	3520	93,93	1,22
lit n°5	380	99,35	2,18

Les boues brutes ont une charge moyenne de $5,8.10^4$ UFC/ml. Dans les effluents, nous avons des charges moyennes bactériennes qui varient entre 380 et 3520 UFC/ml, avec un taux d'abattement avoisinant 2 Ulog. L'élimination de ces colonies se fait essentiellement par sédimentation, diffusion brownienne et par adsorption (Defo et al., 2015). Ces éliminations dépendent essentiellement de la taille des polluants, des mailles du filtre et de la profondeur de celui-ci (Sonko et al., 2009).

➤ **Élimination des Streptocoques fécaux**

Les teneurs en Streptocoques fécaux dans les boues brutes et les lexiviats prélevés au niveau des regards de chaque lit sont relevées dans le tableau suivant :

Tableau XIII: Abattement des Streptocoques fécaux au niveau des lits étudiés

	Streptocoques fécaux UFC/ml	Rendement %	Abattement [ULog]
Boue brute	1024	-	-
lit n°1	356	65,23	0,46
lit n°2	292	71,48	0,54
lit n°3	204	80,07	0,7
lit n°4	230	77,54	0,65
lit n°5	190	81,45	0,73

Les boues brutes ont une charge moyenne de 1024 UFC/ml. Dans les effluents, nous avons des charges moyennes bactériennes qui varient entre 190 et 356 UFC/ml, avec un taux d'abattement avoisinant 2 Ulog. L'élimination de ces colonies se fait essentiellement par sédimentation, diffusion brownienne et par adsorption (Defo et al., 2015). Ces éliminations dépendent essentiellement de la taille des polluants, des mailles du filtre et de la profondeur de celui-ci (Sonko et al., 2009).

2.3.2. Evolution des paramètres parasitologiques

Les résultats de l'analyse des helminthes sont présentés dans le tableau XV :

Tableau XIV: Abattement des oeufs d'helminthes au niveau des lits étudiés

	Œufs d'Helminthes (Nb/L)	Rendement %
Boue brute	8	-
lit n°1	1	87,5
lit n°2	0	100
lit n°3	0	100
lit n°4	1	87,5
lit n°5	0	100

Ce tableau montre que les boues analysées dans cette étude ont des charges assez faibles. Ces charges néanmoins faibles, doivent être prise en considération avec beaucoup de prudence. Les abattements confirment les résultats de la littérature qui fait état d'un rendement de 100% (Koné et al., 2007) et d'un rendement supérieur à 80% (Kouawa, 2016). La quasi- totalité des œufs d'helminthes est retenue sur le filtre constitué de pavés, entre ces pavés des espaces d'interstice pouvant laissés passer quelques œufs contrairement au sable avec ces fins pores les retient totalement.

3. Evaluation de la Siccité et de la qualité hygiénique des boues

3.1. Evolution de la Siccité des boues

Les boues en séchage sont visualisées sur la figure 16 :



Figure 16: Boues en séchage sur un lit avec des pavés

La figure 15 montre que la boue a atteint un degré de siccité très avancé. Cette siccité élevée se remarque par les craquements de la surface de la boue. La vitesse de siccité sera ressortie dans cette étude à la lumière de l'influence de la charge.

3.1.1. Influence de la charge sur la siccité des boues

Le suivi de la siccité des boues en fonction de la charge a donné les résultats présentés par la figure 16.

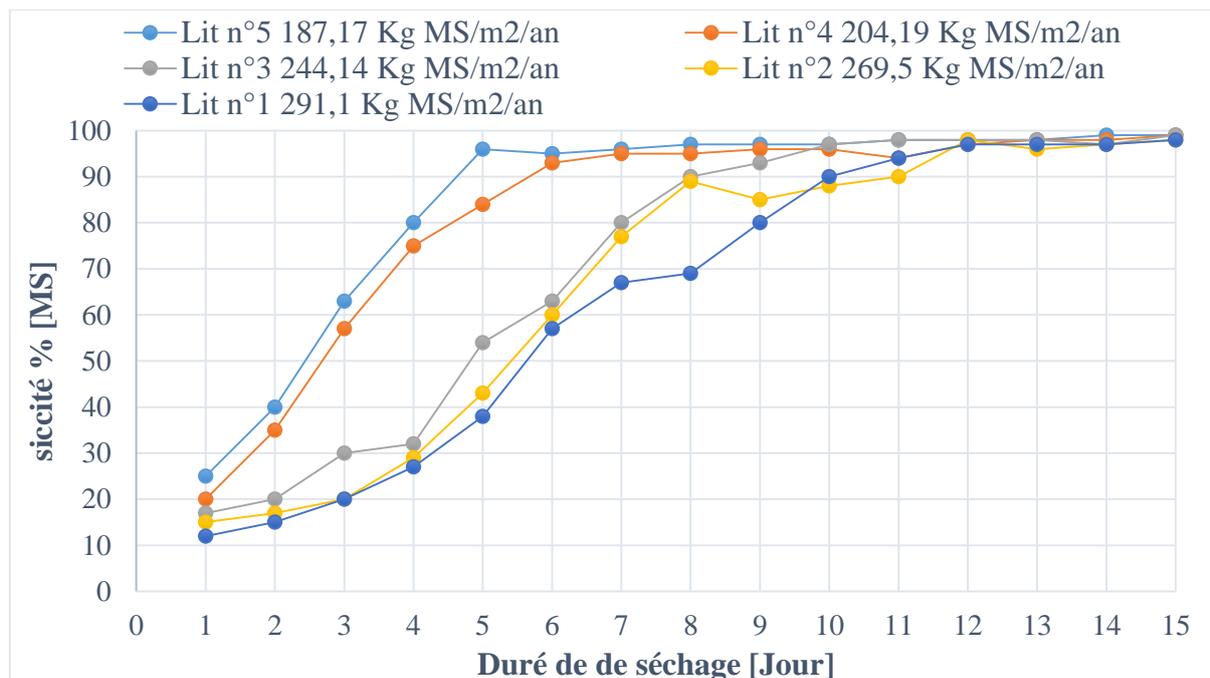


Figure 17: Evolution de la siccité en fonction de la charge

Les résultats de la suivie de la siccité des boues en séchage sur les lits montrent qu'à la fin du cycle de séchage quelle que soit la charge de boues appliquée on obtient une siccité supérieure à 80 %. Ces résultats montrent que plus l'épaisseur de la boue est faible, plus cette boue est facile à déshydrater et à sécher (Sonko et al., 2009). Cela révèle une influence certaine de la charge sur la siccité. Selon Miesher (2007) le séchage de boues dépend des facteurs climatiques tels que l'exposition au soleil, le vent, la température et l'humidité dont l'influence sur l'épaisseur de boue varie suivant la profondeur.

3.1.2. Temps d'hygenisation des boues en fonction de l'alimentation des lits

En fonction de la charge d'alimentation des lits nous avons évalués le temps de séjour des boues sur les lits de séchage avant d'être racler.

Tableau XV: Temps de sejours des boues de vidange sur les lits étudiés en fonction des charges d'alimentations

	Lit n°1	Lit n°2	Lit n°3	Lit n°4	Lit n°5
Charge massique (Kg MS/m ²)	21,53	18,46	15,38	12,30	9,23
Temps de séjours (jrs)	27	25	23	22	18

Les résultats consignés dans le tableau XVII sont explicites par la figure 17.

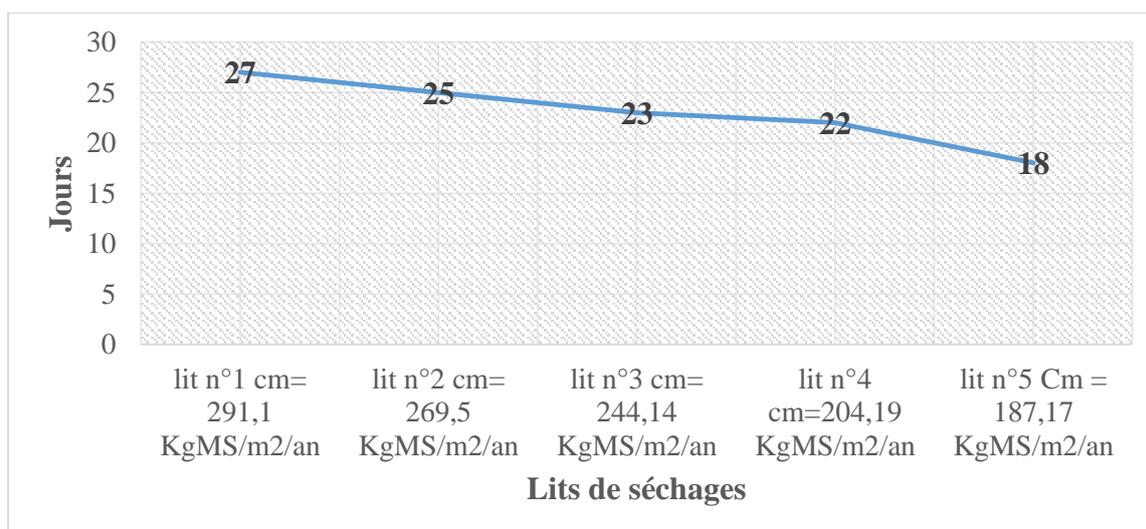


Figure 18: Evolution du temps de séchage en fonction de la charge

Les résultats issus du suivi des boues sur les lits de séchages montrent que plus le volume de boue déposé ou la charge appliquée au niveau d'un lit est élevé plus le temps de séchage augmente, ainsi dit la charge a une influence sur le temps de séchage des boues. Le séchage des boues dépend des facteurs climatiques tels que l'exposition au soleil, le vent, la température et l'humidité (Miesher, 2007) dont l'influence sur l'épaisseur de boue varie suivant la profondeur. Ces résultats montrent que plus l'épaisseur de boue est faible, plus cette boue est facile à déshydrater et à sécher. Cela permet de choisir la charge idéale à appliquer sur les lits pour un temps de séchage raisonnable permettant ainsi de respecter le nombre de cycles de séchage de boues en une année tout en limitant les risques de colmatages des lits.

3.2. Qualité hygiénique des boues séchées

3.2.1. Evolution des Coliformes fécaux

L'évaluation de la teneur en coliformes fécaux au cours du séchage des boues est relevée dans le tableau XVIII :

Tableau XVI: Evolution de la teneur en coliformes fécaux à différents temps de séchage des boues

	Type de boues	Charge en Coliformes fécaux (UFC/100 g)	Abattement (ULog)
Lit n°1 V= 70 m ³ Cm = 21,53 KgMS/m ²	Boues en séchage 1 ^{er} jour	5,7.10 ⁷	-
	Boues en séchage 15 ^{em} jour	2,4.10 ⁴	3,3
Lit n°2 V= 60 m ³ Cm = 18,46 KgMS/m ²	Boues en séchage 1 ^{er} jour	2,7.10 ⁶	-
	Boues en séchage 15 ^{em} jour	6,5.10 ³	2,6
Lit n°3 V= 50 m ³	Boues en séchage 1 ^{er} jour	3,8.10 ⁷	-

Cm = 15,38 KgMS/m ²	Boues en séchage 15 ^{em} jour	4,7.10 ⁴	2,9
Lit n°4 V= 40 m ³ Cm = 12,30 KgMS/m ²	Boues en séchage 1 ^{er} jour	4.10 ⁶	-
	Boues en séchage 15 ^{em} jour	6.10 ³	2,8
Lit n°5 V= 30 m ³ Cm = 9,23 KgMS/m ²	Boues en séchage 1 ^{er} jour	1,17.10 ⁷	-
	Boues en séchage 15 ^{em} jour	3,3.10 ³	3,5

Les résultats montrent que les boues sont fortement chargées en Coliformes fécaux avec des valeurs proches de 10⁷ CF/100g de matières sèches MS. A la fin du séchage des boues on remarque que les rendements sont proches de 3 U Log. Les exigences de (OMS, 2006) pour les boues séchées qui doivent être utilisées en agriculture devront respecter la valeur critique de 10³ UFC/100g de MS, cela n'est pas le cas de nos boues donc il faudrait prolonger le temps de stockage pour une meilleure stabilisation de la matière.

3.2.2. Evolution des Œufs d'Helminthes

L'évaluation des œufs d'helminthes dans les boues séchées est relevée dans le tableau XIX :

Tableau XVII: Composition en helminthes des boues séchées

Type de boues	Type de boues	Œufs d'Helminthes (Nb/g)	Abattement (%)
Lit n°1 V= 70 m ³ Cm = 21,53 KgMS/m ²	Boues en séchage 15 ^{em} jour	6	-
	Boues entreposées 30 jours	6	00
Lit n°2 V= 60 m ³ Cm = 18,46 KgMS/m ²	Boues en séchage 15 ^{em} jour	11	-
	Boues entreposées 30 jours	14	-
Lit n°3 V= 50 m ³ Cm = 15,38 KgMS/m ²	Boues en séchage 15 ^{em} jour	0	-
	Boues entreposées 30 jours	0	-
Lit n°4 V= 40 m ³ Cm = 12,30 KgMS/m ²	Boues en séchage 15 ^{em} jour	11	-
	Boues entreposées 30 jours	11	00
Lit n°5 V= 30 m ³ Cm = 9,23 KgMS/m ²	Boues en séchage 15 ^{em} jour	6	-
	Boues entreposées 30 jours	8	-

L'évolution des œufs d'helminthes dans les boues séchées est relevée dans le tableau XVIII. Le nombre d'œufs varie entre 0 et 11 Nb/g de MS. Cela dépend aussi bien de la prévalence et de l'intensité de l'infection à travers la population dont les boues ont été collectées que des autres facteurs (température, la sécheresse et les rayons UV) influençant la survie des parasites (D. Koné et al., 2007). Après les 30 jours d'entreposage on remarque des abattements pratiquement

nuls. En absence de valeur guide dans la réglementation nationale sur le sujet, la valeur recommandée par l'OMS concernant la réutilisation des bio-solides comme fertilisant agricole est considérée comme référence. Cette recommandation fixe à 1 œuf d'helminthe/g de MS le seuil de contamination parasitaire des boues séchées pour l'utilisation en agriculture maraichère. Ceci montre que le délai de 30 jours de stockage n'est pas efficace pour éliminer les œufs d'helminthes, il faut donc prolonger le temps de stockage.

4. Gestion technique et financière de la STBV de Sokodé

4.1. Gestion technique de la STBV de Sokodé

Dans l'APD les rendements épuratoires prévisionnels sont de 80% ;90% ;80% et 99% pour respectivement DBO5, MS, DCO et les helminthes avec l'utilisation du sable dans la composition massive filtrant, contre 40,92% ; 32,11% ; 43,28 % et une élimination des œufs d'helminthes quasi nul avec l'utilisation des pavés en lieu et place du sable. Cela s'explique par le fait que les espaces d'interstices laissés entre les pavés sont grandes et en plus constituent un laissé passer libre de la phase liquide vers la deuxième couche du filtre sans passer au préalable par un filtre plus fin. Ainsi afin d'améliorer ou d'augmenter la capacité de traitement de la STBV actuellement en service à Sokodé on propose :

- La réduction des espaces entre les pavés en fabriquant des pavés avec des bordures régulières et plus adhérentes.
- Faire le choix de formes de pavés aux bords réguliers permettant de réduire l'espace entre les joints en laissant passer aisément la phase liquide des boues de vidange. L'utilisation des pavés a des avantages et inconvénients consignés dans le tableau XVIII.

Tableau XVIII :Avantages et inconvénients de l'utilisation des pavés comme composant du massif filtrant:

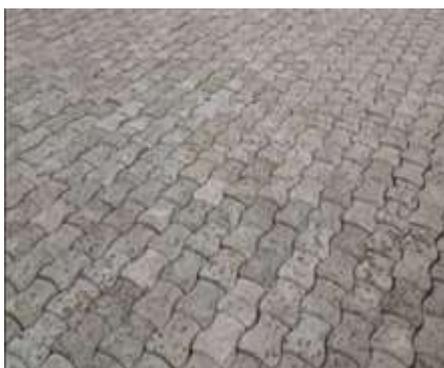
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• L'intérieur des lits plus stable facilitant ainsi la manœuvre des brouettes dans le processus de raclage des boues• L'utilisation des paves permet une exploitation pérenne de la station tout en limitant les couts de recharge des lits en sable• L'utilisation de pavés permettra de réduire les risques de colmatage	<ul style="list-style-type: none">• Les performances des lits de séchage non-plantes à paves sont inférieures à celle à sable• La fabrication des pavés nécessite beaucoup de moyens financiers



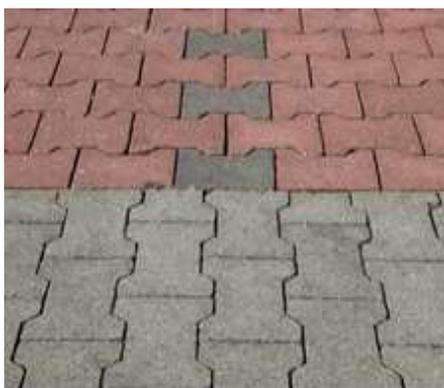
A : avec ces pavés autobloquants Hexagonal, les espaces d'interstices très restreints compris entre (0,3-0,6 cm) limiteront ainsi l'infiltration du percolât. Avec 10 cm d'épaisseur



B : les pavés autobloquants en serpentine d'épaisseur 10 cm laissant des espaces d'interstices acceptables compris entre (0,5-1,5 cm). Pouvant retenir la phase solide et laissé passer le percolât.



C : pavés autobloquants utilisés sur la station de Sokodé on remarque plus d'espace avec ces pavés les espaces d'interstices sont grands compris entre (1-3 cm) et laissent passer beaucoup de particules avec le percolât. Cela est dû à une défaillance des moules ou un manque de rigueur lors de la fabrication. Ils ont une épaisseur de 10 cm.



D : Pavés autobloquants en H avec des espaces d'interstices idéale pour une bonne infiltration des boues brutes. Type de pavés choisi pour l'approche solution. Avec une épaisseur de 10 cm et des espaces d'interstice compris entre (0,5-1 cm).

Figure 19: Quelques formats de pavés qu'ont peut utiliser dans les lits de séchage

- Modifier la composition du massif filtrant en associant les pavés et le sable comme présenté par la figure 19. Cela permettra une meilleure filtration du percolât par le sable après le passage à travers la couche de pavés.

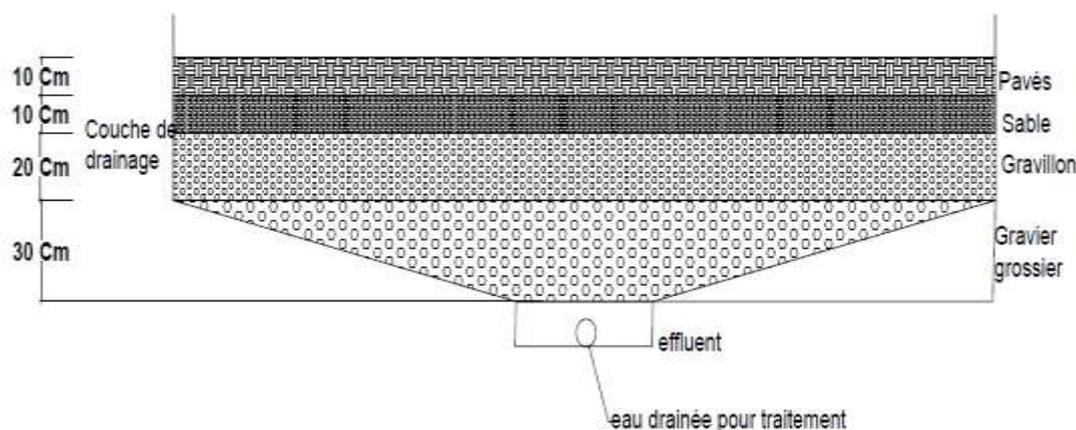


Figure 20: Aspect du massif filtrant proposé

4.1.1. La quantité de sable nécessaire pour les lits de séchage de la station

La quantité de sable nécessaire pour alimenter les 15 lits de séchage est de 97,5 m³ avec une épaisseur de la couche de sable de 0,1 m et une surface de 65 m² au niveau de chaque lit de séchage. Pour assurer une présence de sable afin de combler le manque après raclage des lits nous avons décidé de convoier 110 m³ de sable.

4.1.2. La quantité de pavés nécessaire pour les lits de séchage de la station

Le nombre de pavés nécessaire pour approvisionner les 15 lits de séchage est 48 750 sur une surface totale de 975 m². Ces pavés ont une épaisseur de 0,1 m chacun.

4.2. Gestion financière de la STBV de Sokodé

Dans le but d'assurer une bonne gestion de la STBV de Sokodé la Mairie de la ville de Sokodé avec l'approbation de la BAD à crée une fédération de gestion pour prendre en charge le camion vidangeur fournit par le projet et la STBV. Cette fédération nommée FeCAQSo (Fédération du Comité d'Assainissement des Quartiers de Sokodé) à pour taches la gestion des boues de vidanges de la collecte au traitement et à la spéculation des sous-produits de traitement (le bio-solide) comme engrais à utiliser en agriculture et en maraichage.

4.2.1. Les dépenses liées aux charges d'exploitation

Les charges d'exploitation englobent les charges de fonctionnement et les charges du personnel. Les charges de fonctionnement intègrent le coût d'entretien des installations, l'électricité, le coût des fournitures de bureau, de remplacement des petits matériels et le coût d'entretien du camion vidangeur. Le personnel du site est fourni par la fédération et est constitué d'un Technicien en Assainissement et qui vas assurer le rôle de gérant, de deux ouvriers qualifiés et d'un gardien etc.... La rémunération de la main d'œuvre pour le raclage des boues séchées a

aussi été incluse dans les charges de personnels. Les charges d'exploitations à la première année s'élèvent à **7780 000 F CFA** (Annexe V).

4.2.2. Evaluation du budget nécessaire pour l'approvisionnement en sable et en pavés

- **Le budget nécessaire pour l'apport du sable**

En se basant sur les prix proposés dans le marché par la société de génie civil chargée de l'exécution des travaux nous avons besoin de 18000 Fr CFA pour convoier 1 m³ de sable y compris le déplacement Lomé-Sokodé.

Tableau XIX: Estimation du budget de l'apport en sable

Désignation	Unité m ³	Prix du m ³ (Fr CFA)	Prix globale (Fr CFA)
sable	110	18 000	1 980 000
TOTAL			1 980 000

Pour convoier 110 m³ de sable de mer vers la STBV de Sokodé nous avons besoin d'un montant de 1.980.000 Fr CFA.

- **Budget nécessaire pour produire les pavés**

Le prix de 1 m² de pavés est 8000 Fr CFA pour les pavés de types D (voir Figure 13) contenant 50 pavés/ m². La surface totale de lits de séchage étant 975 m² donc nous obtenons un budget de :

Tableau XX: Estimation du budget de fabrication des pavés

Désignation	Unité m ²	Prix du m ² (Fr CFA)	Prix globale (Fr CFA)
pavés	975	8 000	7 800 000
TOTAL			7 800 000

Pour fournir à la STBV de Sokodé en pavés de type D, il faut un budget de **7 800 000 F CFA**. Un budget de **9 780 000 F CFA** est nécessaire pour produire des pavés et convoier du sable afin de constituer le massif filtrant de la figure 19.

4.2.3. Les recettes

➤ Recettes issues du Bio-solide

Comme recettes nous comptons le bénéfice tiré de la vente de Bio-solide comme engrais biologiques, les taxes de dépotages au niveau de la station et les gains de collecte de boues par le camion vidangeur. Le bio-solide sera produit à base des boues de vidange séchées. La vente du bio-engrais auprès des maraîchers actifs dans la zone urbaine de Sokodé, à un prix concurrentiel, permettra l'établissement d'un flux financier vers la STBV. Après plusieurs discussions avec les maraîchers, il a été déterminé qu'un marché pour les boues fraîches existe. Cependant, une étude plus détaillée de l'ampleur du marché, des "testes" agronomiques avec les maraîchers ont été réalisés. Il a été rapporté lors des enquêtes lors de l'APD que les engrais utilisés par les agriculteurs sont de type chimiques (NPK15-15-15, urée) dont le prix du sac de 50 Kg varie entre 13700 F CFA et 15 700 F CFA soit au minimum 274 F CFA et maximum 314 F CFA le Kg. Les agriculteurs proposent un coût pour un sac de 50 Kg de bio-solide à base de boues de vidange compris entre 20 F CFA à 150 F CFA le Kg. Compte tenu des caractéristiques des boues séchées qui sont très riches en substances humiques avec une capacité de doubler voire tripler les rendements agricoles (Zerguini et al., 2018), nous proposons le prix du Kg de cet amendement à 240 F CFA. Dans le cas d'une utilisation optimale de l'infrastructure, les quantités de bio-solides que la station sera capable de produire est de 240000 Kg/an (Annexe VI), nous espérons une recette de **57 600 000 F CFA/an** à partir de l'année 1.

➤ Recette issu de la gestion du camion

Le camion de vidange à une capacité de 10 m³ dont un voyage de ce camion coût 18 000 F CFA. La station par an reçoit en moyenne 9600 m³ de boues brutes cela signifie qu'avec un camion de 10 m³ nous avons 960 voyages à effectuer ce qui nous donne une recette de **17 316 000 F CFA/an**.

➤ Taxes de dépotage

Pour les taxes de dépotage, elles sont la contribution des vidangeurs pour assurer la pérennité de la STBV. Ces taxes sont fixées de manière à ne pas impacter sur leur chiffre d'affaires. En effet après réunion et concertation au niveau de la Mairie de Sokodé et sur la base de l'expérience vécue dans d'autres pays tels que le Burkina Faso, le Sénégal etc. elle fixe le tarif de dépotage à 150 F CFA/m³. Ainsi annuellement si on reçoit 9600 m³ de boues brutes nous avons alors une recette de **1 440 000 F CFA/an**.

CONCLUSION

IV. CONCLUSION

L'étude est réalisée sur la station de traitement des boues de vidange à Sokodé après sa mise en marche en juin dernier afin de contribuer à la gestion des boues de vidange dans cette ville en évaluant l'efficacité de traitement des lits de séchage non-plantés a pavés de la station. Cela permettra de savoir si ce massif filtrant répond aux attentes énumérées dans l'APD avec le massif à sable.

Au terme de l'étude, l'évaluation du fonctionnement des lits montre un résultat positif à travers les paramètres déterminés. Les teneurs obtenus en paramètres physico-chimiques dans le percolât par rapport aux boues brutes montrent une faiblesse des performances épuratoires avec des rendements suivants : 32,11 % pour les MS, 45,16 % de MES, 40,92 % de DBO5, 43,28 % de DCO et 23,36 % de NTK. Par rapport à ceux microbiologiques on observe des rendements élevés. L'évaluation de la siccité montre que plus la charge appliquée sur le lit augment plus le temps d'atteinte de la siccité augment. La détermination de l'évolution des paramètres microbiologiques dans les boues séchées pendant 15 jours de séchage et 30 jours d'entreposage montre une élimination progressive des bactéries et parasites suivant les temps de séchage et d'entreposage des boues. Le délai d'entreposage de 1 mois étant court nous préconisons de respecter ainsi le délai de 6 mois d'entreposage, les normes de l'OMS en matière de valorisation des boues séchées en maraichage et en agriculture cela traduira une efficacité pour éliminer des pathogènes. Après l'évaluation des charges d'exploitation et les recettes on note une rentabilité financière dans gestion de la station et du camion par la fédération avec un chiffre d'affaires de : **58 796 000 F CFA/an.**

Dans le but de résoudre le problème de colmatage des LSNP observer sur la plupart des stations de traitement des boues de vidange de la sous-région à l'instar du Burkina Faso, du Sénégal etc... Il est essentiel de trouver des méthodes pour améliorer le rendement épuratoire avec les lits de séchage utilisant les pavés.

V. RECOMMANDATION

Dans le but d'optimiser le système de traitement des boues de vidange en utilisant les pavés dans la composition du massif filtrant, certaines mesures doivent être prises.

- ✓ Effectuer un contrôle permanent de la qualité du percolat, cela permettra de savoir s'il y a amélioration de la performance épuratoire. Car au fur et à mesure de l'augmentation du dépôt de boues résiduelles, celui-ci constituera le premier horizon de la couche filtrante et participera à améliorer la couche filtrante (Kouawa, 2016).
- ✓ Réduire l'espacement entre les mailles des pavés c'est-à-dire réduire l'espace d'interstice entre les pavés en procédant à la fabrication de nouveaux pavés avec des bords plus adhérents.
- ✓ Modifier la composition du massif filtrant en ajoutant une couche de sable grenu de 10 cm avant de placer les pavés (gravier, gravillon, sable et ensuite les pavés), cela permettra de retenir plus de particules et améliorer la performance
- ✓ Respecter la charge idéale de boues brutes à appliquer pour limiter les risques de colmatage précoce des lits de séchage
- ✓ Effectuer un suivi rigoureux en matière de gestion de la STBV. La station de traitement doit bénéficier d'un suivi régulier avec l'analyse de la MES, de la DCO et de la DBO5.

VI. BIBLIOGRAPHIE

- Badji, K. (2008). Traitement des boues de vidange : éléments affectant la performance des lits de séchage non-plantés en taille réelle et les mécanismes de séchage. Engineer degree, Génie des Procédés, École supérieure polytechnique, Dakar, Sénégal.
- Cissé, B. (2011). Analyse socio-économique et sanitaire de la gestion des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou.
- Cofie, O., Agbottah, S., Strauss, M., Esseku, H., & Montangero, A. (2006). Solid-Liquid Separation of Faecal Sludge Using Drying Beds in Ghana: Implications for Nutrient Recycling in Urban Agriculture.
- Defo, C., Fonkou, T., Mabou, P., NaNa, P., & Manjeli, Y. (2015). Collecte et évacuation des boues de vidange dans la ville de Bafoussam, Cameroun (Afrique centrale). [VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement, 15(1).
- Degrémont. (2005). Memento technique de l'eau, 8eme ed.
- Djékpé, E. M. K. (2016). Contribution à la gestion durable des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou : Suivi, évaluation et optimisation des lits non plantés.
- Dodane, P.-H., & Ronteltap, M. (2014). Gestion des boues de vidange : Approche intégrée pour la mise en oeuvre et l'exploitation. Chapitre VII : Lits de séchage non-plantés.
- Klingel, F., Montangero, A., Koné, D., & Strauss, M. (2002). Gestion des boues de vidange dans les pays en développement. Manuel de planification. Première édition. Eawag/Sandec.
- Koanda, H. (2006). Vers un assainissement urbain durable en Afrique subsaharienne : approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange.
- Koné, D., Cofie, O., Zurbrügg, C., Gallizzi, K., Moser, D., Drescher, S., & Strauss, M. (2007). Helminth eggs inactivation efficiency by faecal sludge dewatering and co-composting in tropical climates.
- Koné, M., Ouattara, Y., Ouattara, P., Bonou, L., & Joly, P. (2016). Caractérisation des boues de vidange dépotées sur les lits de séchage de zagtoulé (Ouagadougou). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 10(6), 2781-2795.
- Kouawa, T. (2016). Traitement des boues de vidange par lits de séchage sous climat soudano-sahélien.
- Mbéguéré, M. (2002). Traitement des eaux usées domestiques par voie naturelle sous climat tropical : étude de cinq écosystèmes artificiels terrestres par Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels. Thèse de Doctorat de troisième cycle en Sciences de l'environnement. ISE, FST, UCAD, Dakar.
- Mbéguéré, M., & Koné, D. (2009). Gestion des Boues de Vidange (GBV) de l'Eau, de l'Environnement, de l'Urbanisme, de l'Economie et des Finances, des collectivités locales, etc.).
- Miesher, A. (2007). Dewatering and drying different types of sludge with planted and unplanted drying beds.
- OMS. (2006). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater; Volume 4: Excreta and Greywater Use in Agriculture. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse.
- PDA Togo. (2015). Plans Directeurs d'Assainissement – PDA dans les 5 chefs-lieux de région (Tsévié, Atakpamé, Sokodé, Kara et Dapaong) du Togo.
- PEA-OMD – Togo – Guide. (2016). Guide Opérationnel de l'Assainissement Autonome des excréta et eaux usées REPUBLIQUE TOGOLAISE PEA – OMD, Programme Eau & Assainissement pour l'accélération de l'atteinte des objectifs du Millénaire pour le Développement.

- Reymond, P. (2008). Elaboration d'une méthodologie permettant de déterminer l'option la plus durable pour le traitement des boues de vidange dans une ville moyenne d'Afrique subsaharienne - application à la ville de Sokodé, au Togo-.
- Sonko, E. hadji M. (2008). Traitement des boues de vidange de systemes d'assainissement autonomes à Dakar (Sénégal) : évaluation de l'efficacité de la séparation solide/liquide de lits de séchage non-plantés soumis à différentes charges de boues domestiques.
- Sonko, E. hadji mamadou, Mbéguéré, M., & Koné, D. (2009). Traitement des boues de vidange de systemes d'assainissement autonomes à Dakar (Sénégal) : évaluation de l'efficacité de la séparation solide/liquide de lits de séchage non-plantés soumis à différentes charges de boues domestiques.
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C., & Schertenleib, R. (2009). Compendium des Systèmes et Technologies d'Assainissement. 150 p.
- Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., Schertenleib, R., & Zurbrügg, C. (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland. Édition française (2016) disponible sur : www.Sandec.ch/compendium_fr.
- Vincent, J. (2011). Lits de séchage de boue plantés de roseaux pour le traitement des boues activées et de matières de vidange : adapter la stratégie de gestion pour optimiser les performances. Thèse de Doctora Université de Savoie.
- Yala, J. F., Souza, A., Lebamba, J., Lepengue, A. N., Douckagas, F. P. M., Minko, E. S., & M'batchi, B. (2017). Etude préliminaire de l'évaluation des paramètres physico-chimiques, détection et dénombrement des coliformes totaux et fécaux dans quelques lacs de la ville de Franceville (Gabon)/Preliminary study of the evaluation of physicochemical parameters, detection and enumeration of total and faecal coliforms in some lakes of the town of Franceville (Gabon). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 20(3), 963-974.

ANNEXES

Annexe I : Protocole d'analyse physico-chimique.....	I
Annexe II : Protocole d'analyses des paramètres Microbiologiques	IV
Annexe III : Résultats détaillés des analyses des paramètres physico-chimiques.....	VII
Annexe IV : Résultats détaillés des analyses des paramètres Microbiologiques.....	VIII
Annexe V: Charges d'exploitation.....	IX

VII. ANNEXES

Annexe I : Protocole d'analyse physico-chimique

• Détermination du pH, conductivité, température

La conductivité et la température sont mesurées à l'aide d'un Conductimètre **PALINTEST CONDUCTIVITY** à électrode de verre plongé dans un volume donné de percolât. Le principe de mesure est l'électrochimique.

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

• Protocole d'analyse de MES

Mode opératoire

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

Calcul des résultats

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

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

Soient :

$M_1 \text{ échantillon}$ = la masse, en mg, du disque filtrant après utilisation et séchage à 105°C

$M_0 \text{ échantillon}$ = la masse, en mg, du disque filtrant sec avant utilisation

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

$M_0 \text{ essai blanc}$ = la masse, en mg, du disque filtrant sec avant utilisation

$M \text{ échantillon}$ = le volume, en ml, d'échantillon mis en jeu.

- **Protocole d'analyse de la DBO₅**

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

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

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

Mode Opératoire

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

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

Dès que la température de mesure est atteinte (20°C) au minimum après 1 h ou au maximum après 3 h, l'Oxitop lance automatiquement la mesure de la consommation en oxygène. L'Oxitop mémorise les valeurs toutes les 24 h pendant 5 jours.

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

Les résultats s'expriment en mgO₂/l.

- **Protocole d'analyse de la DCO**

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

Mode opératoire

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

• Protocole d'analyse de l'azote Kjeldahl (NTK)

La teneur en azote total organique a été déterminée par la méthode de kjeldahl.

Mode opératoire s'est fait en trois étapes

- Une minéralisation dans un tube Kjeldhal de 100ml de l'échantillon dilué et 10ml d'acide sulfurique concentré dans un minéralisateur BUCHI K-436 successivement

aux températures suivantes : 180°C pendant 2h, 250°C pendant 2h, 340°C pendant 2h et laisser refroidir pendant 24h ;

- Une distillation à la soude dans un distillateur BUCHI K-355 ;
- Un dosage par titrimétrie avec de l'acide sulfurique 0.02mol/l.

La teneur en azote Kjeldhal exprimée en milligramme de N par litre est donnée par l'expression :

$$\text{NTK (mg/L)} = \frac{(V - V_0) * 0,02 * 14}{V_1} * 1000$$

V : volume en milli litre d'acide sulfurique utilisé pour le dosage

V₀ : volume en milli litre d'acide sulfurique utilisé pour l'essai blanc

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

V₁ : volume en milli litre de la prise d'essai

- **Protocole d'analyse de la MS**

Matériel

Balance de précision ; Creusets en céramique ; Bain de sable.

Mode opératoire

- Peser la masse à vide du creuset notée M₁ ;
- Peser 10 ou 5 gramme l'échantillon de boue selon la capacité du creuset notée M₂ ;
- Noter le volume V de l'échantillon ;
- Sécher l'échantillon dans le bain de sable à 105°C pendant 5h, laisser refroidir puis peser. La masse correspondante est notée M₃ ;

Expression des résultats

- La matière sèche exprimée en pourcentage de l'échantillon est donnée par la formule suivante :

$$\text{MS (\%)} = \frac{M_3 - M_1}{M_2 - M_1} * 100$$

- Ou encore en mg/L par la formule suivante :

$$\text{MS (mg/L)} = \frac{M_3 - M_1}{V} * 10^6$$

Annexe II : Protocole d'analyses des paramètres Microbiologiques

✚ Coliformes Fécaux et Escherichia Coli

Il existe plusieurs milieux d'identification des coliformes tels que le chromoculte agar, le désoxycholate agar. Le milieu utilisé dans le cas présent est le premier cité (chromoculte agar).

Matériels utilisés :

Ballon d'un (01) litre ; Une plaque chauffante ; Une balance électronique ; Les boîtes de pétri ; Cuves stérilisées.

Mode opératoire :

Préparation du milieu :

- Dissoudre 34,5g g de la poudre de chromoculte dans un litre d'eau distillée (veiller à éviter les dépôts de poudre au fond du ballon, la quantité à préparer est fonction du nombre d'échantillons) ;
- Chauffer en agitant sur une plaque chauffante jusqu'à ébullition (éviter les surchauffes) ;
- Laisser refroidir la solution jusqu'à une température comprise entre 45° et 50° puis la couler dans les boîtes de pétri ;
- Laisser la solution se solidifier dans les boîtes de pétri puis les conserver au réfrigérateur pendant au moins 24heures ;
- Ensemencement des milieux :

Ensemencer ensuite avec les échantillons dilués et conserver les boîtes à l'étuve pendant 24 heures à 44°C.

La concentration des bactéries se calcule alors par la formule suivante :

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

n : nombre de colonies comptées sur la boîte de pétri ;

V : volume de l'échantillon déposé dans la boîte ;

d : le facteur de dilution.

✚ Les Streptocoques fécaux

Ils ont le même mode opératoire que les Coliformes fécaux et les E.coli sauf que dans le cas des streptocoques fécaux :

- ✓ Le milieu de culture est le slanetz et bartley agar
- ✓ Temps d'incubation 48 heures, à 37°C
- ✓ Aspect des colonies couleur rouge

✚ Les œufs d'helminthes (Bailenger modifié par Bouhoum et Schwartzbrod)

- Verser 1 litre (V) de l'échantillon à analyser dans un cône en plastique de 1L

- 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 surnageant 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 deux parties et garder le culot
- Ajouter un volume du sulfate de zinc équivalent à 5 fois le volume du culot puis noter le volume final obtenu (X)
- Agiter soigneusement au vortex
- Prendre à l'aide d'une pipette pasteur un volume (P) de la solution (de préférence 0,1ml) et déposer dans la lame
- Mettre la lame au microscope et commencer à compter les œufs à l'objectif 10X puis 40X et 100X.
- Réaliser au moins 5 lectures au microscope

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

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

N : la concentration des œufs d'helminthes

A : le nombre d'œufs comptés au microscope

P : volume total mis sur les lames

V : le volume initial de l'échantillon

X : volume du mélange culot-sulfate de Zinc

Annexe III : Résultats détaillés des analyses des paramètres physico-chimiques

➤ **Résultats détaillés des analyses de boues brutes**

parametres	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10	Ech11	Ech12	Ech13	Ech14	Ech15	Ech16	Ech17	Ech18	Ech19	Ech20	Ech21	Ech22	Ech23	Ech24	Ech25	Ech26	Ech27	Ech28	Ech29	Ech30
T°C	27,4	26,5	25,7	28,5	24,9	28,4	27,5	28,6	24,6	28,2	27,9	28,3	27,5	28,4	28,6	27,3	28,7	28,9	24,7	27,1	28,6	28,9	26,8	25,7	28,9	28,5	28,1	29,7	27,6	28,5
pH	7,45	7,89	7,53	7,95	7,74	7,16	7,42	7,15	7,4	7,59	7,68	7,47	7,41	7,67	7,24	7,9	7,78	7,86	7,41	7,95	7,15	7,86	7,93	7,49	7,17	7,53	7,49	7,19	7,48	7,99
conductivite µs/cm	6820	7210	6900	7450	7650	6870	7269	8310	7345	8431	8147	7523	6915	6678	7680	6327	6975	6817	6990	7900	7854	7349	6752	6971	6743	6976	6830	7614	6720	6480
MS	4120	4300	4050	4700	5150	4850	6710	5102	6608	6250	6490	5740	4910	4327	4783	5023	5802	6231	4360	5603	4780	4509	4320	5830	4820	5490	5787	4926	4280	5700
MES	800	1000	920	840	1100	967	890	925	1102	735	870	907	817	803	937	894	800	1037	960	890	918	957	808	867	900	840	1007	890	966	1230
DBO5	2885	2587	2600	1985	2483	2568	1984	2386	1798	2105	2567	1957	1957	1787	2205	1807	2645	2357	1645	1890	1904	2653	1841	2433	2880	3790	4689	3476	3821	2962
DCO	2900	3000	2860	2580	2920	2750	2700	2850	3100	3480	2670	3200	2800	2756	2950	3060	3400	2870	3000	3871	2618	2379	2710	2950	3611	3730	4458	5743	2973	4641
NTK	767	819	789	861	783	854	805	792	738	947	829	833	807	797	889	906	828	789	900	1203	875	794	1003	708	1300	1090	981	804	1121	958

➤ **Résultats détaillés des analyses de percolat**

parametres	Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10	Ech11	Ech12	Ech13	Ech14	Ech15	Ech16	Ech17	Ech18	Ech19	Ech20	Ech21	Ech22	Ech23	Ech24	Ech25	Ech26	Ech27	Ech28	Ech29	Ech30
T°C	28,2	25,3	24,5	28,5	26,8	27,5	29,1	27,3	25,7	28,9	28,6	29,2	28,5	29,2	28,7	27,9	28,3	28,6	27,5	25,2	27,8	29,6	27,5	28,4	28,6	28,9	28,5	29,5	28,9	28,4
pH	7,65	7,87	7,42	7,32	7,84	7,45	7,77	7,98	7,32	7,51	7,63	7,72	7,21	7,68	7,82	7,95	7,13	7,34	7,14	7,35	7,89	7,54	8,13	8,34	7,57	7,92	7,41	7,37	7,9	7,43
conductivite µs/cm	5900	5340	5920	6550	6520	5720	6570	6900	5375	6954	6745	5940	5995	5758	6780	5407	6055	5897	6070	6940	6954	6429	5802	5991	5823	6056	5910	6704	5800	5560
MS	3210	3015	3500	3665	3997	3759	4900	3600	5148	4894	4730	4240	3450	2857	3323	3383	3922	4131	2910	3740	3120	3039	2640	4160	2610	2920	2694	2663	2340	3050
MES	650	620	697	520	660	517	545	560	651	463	495	590	507	423	505	484	490	554	490	415	460	475	410	423	350	320	404	450	380	610
DBO5	1858	1960	2050	1553	2010	1790	1196	1598	1018	1330	1777	1188	1047	1092	1200	1120	1600	1395	1112	1045	1069	1403	1031	1211	1390	1795	2345	1635	1811	1485
DCO	1970	2317	2012	1917	2367	1803	1712	1855	1890	2042	1582	2050	1550	1425	1561	1860	1995	1608	1600	1873	1198	1248	1335	1845	1605	1695	2025	2492	1394	2340
NTK	602	677	617	705	596	715	630	622	565	772	651	658	623	619	698	645	632	690	735	938	600	619	683	543	960	744	713	615	820	691

Annexe IV : Résultats détaillés des analyses des paramètres Microbiologiques

➤ Résultats détaillés des analyses des paramètres bactériologiques

Echantillons	Coliformes fécaux UFC/ml	<i>Escherichia coli</i> UFC/ml	Streptocoques fécaux UFC/ml
Eau brute	66 10 ³	58 10 ³	1024
Lit n°1 V= 70 m ³	1020	620	356
Lit n°2 V= 60 m ³	840	580	292
Lit n°3 V= 50 m ³	590	420	204
Lit n°4 V= 40 m ³	832	3520	230
Lit n°5 V= 30 m ³	410	380	190

➤ Résultats détaillés des analyses des œufs d'helminthe

Echantillons	Œuf d'helminthe Nb/g
Lit n°1 V= 70 m ³	6
Lit n°2 V= 60 m ³	11
Lit n°3 V= 50 m ³	0
Lit n°4 V= 40 m ³	11
Lit n°5 V= 30 m ³	6

Annexe V : Charges d'exploitation

	Unité	Mensuel Fr CFA	Annuel Fr CFA
Coordinatrice	1	40000	480000
Secrétaire particulier	1	25000	300000
Secrétaire	1	25000	300000
Trésorière	1	25000	300000
Responsable marketing	1	25000	300000
Technicien en Assainissement	1	100000	1200000
Chauffeur	1	70000	840000
Assistant du chauffeur	1	30000	360000
Ouvrier qualifier	2	70000	840000
Gardiens	1	30000	360000
Budget de la solution proposée			9 780 000
Autres charges			2 500 000
Total			17 560 000