

Expérimentation d'une station de traitement de boues de vidange (STBV) pour l'assainissement des immeubles de plus de six (6) niveaux le long du fleuve Niger à Bamako

**Alassane TOURE^{1*}, Sory DIALLO¹, Michael BAH², Adama TOURE³, Maimouna TRAORE⁴
et Alfousseyni TOURE⁵**

¹ *Ecole Nationale d'Ingénieurs Abderhamane Baba TOURE (ENI/ABT), BP 242, Bamako, Mali*

² *Bureau d'Expertise et Vente Bâtiment, Bamako, Mali*

³ *Institut de Pédagogie Universitaire (IPU, Ex-IFRA), Bamako*

⁴ *Institut Supérieur de Technologie Appliquée et de Gestion (ISTAG), Bamako, Mali*

⁵ *Centre de Formation Professionnelle et de Recherche Appliquée DMTK de Kati, Mali*

(Reçu le 13 Juin 2023 ; Accepté le 08 Août 2023)

* Correspondance, courriel : tourealassane440@gmail.com

Résumé

Le but de ce travail est de proposer une Station de Traitement de Boues de Vidange (STBV) pour l'assainissement des immeubles de plus de six (6) niveaux (S + R + 6) le long du fleuve Niger à Bamako. Ainsi, nous proposons un système de traitement basé sur la décantation, le lagunage, l'infiltration/percolation, l'évaporation aboutissant à un compostage et un arrosage (ou épandage agricole). Initialement expérimentée à Dioila en 2^{ème} Région du Mali (sur financement du Programme Eau Potable Assainissement PEPA à travers l'ONG BORDA), la STBV est un nouvel ouvrage au Mali pouvant désormais servir à assainir les 21 immeubles recensés le long du fleuve Niger à Bamako. Son alimentation doit y reposer aisément sur la mise en place d'un réseau d'assainissement conçu au niveau de chaque immeuble. Sur la station pilote de Dioila, une stratégie d'analyses trimestrielle a été mise sur pieds. Pour ce faire, cinq (5) points de prélèvements ont été choisis. Les résultats des analyses obtenus montrent que les boues de vidange de la station sont biodégradables avec un ratio moyen de la DCO/DBO5 de 1,52 au dernier point de prélèvement lors du dernier essai. Les rendements épuratoires moyens pour la conductivité, le PH, le MES, l'Oxygène Dissous, la DCO, la DBO5, le NO³⁻, le PO₄³⁻ et le NH⁴⁺ ayant respectivement donné 46,20 %, 12,40 %, 95,69 %, 78,18 %, 53,57 %, 37,5 %, 88,57, 74,61 %, 75 % et 47,46 % étalent donc clairement qu'une STBV peut bel et bien tenir pour la gestion des boues provenant directement des toilettes avec des résultats escomptés. L'étude laisse par conséquent un grand champ de recherches à approfondir ou à expérimenter dans le temps et dans l'espace.

Mots-clés : *assainissement, STBV, rejet dans le fleuve Niger, rendements épuratoires.*

Abstract

Experimentation of a faecal sludge treatment station for the sanitation of buildings of more than 6 levels along the Niger River in Bamako

The purpose of this work is to propose a Faecal Sludge Treatment Plant (FSTP) for the sanitation of buildings with more than six (6) levels (G + R + 6) along the Niger River in Bamako. Thus, we propose a treatment system based on settling, lagoon treatment, infiltration/percolation, evaporation leading to composting, and irrigation (or agricultural spreading). Initially tested in Dioila, in the 2nd Region of Mali (funded by the Drinking Water and Sanitation Program, PEPA, through the NGO BORDA), the FSTP is a novel facility in Mali that can now be used to treat waste from the 21 identified buildings along the Niger River in Bamako. Its operation depends on the establishment of a sanitation network designed for each building. At the pilot station in Dioila, a quarterly analysis strategy was implemented. For this purpose, five (5) sampling points were selected. The analysis results show that the sludge from the station is biodegradable, with an average COD/BOD5 ratio of 1.52 at the last sampling point during the last test. The average purification efficiencies for conductivity, pH, TSS, Dissolved Oxygen, COD, BOD5, NO_3^- , PO_4^{3-} , and NH_4^+ were 46.20 %, 12.40 %, 95.69 %, 78.18 %, 53.57 %, 37.5 %, 88.57 %, 74.61 %, 75 %, and 47.46 % respectively. These results clearly demonstrate that an FSTP can indeed be suitable for managing sludge directly from toilets with expected outcomes. Therefore, the study opens up a wide field of further research to be explored or experimented with over time and space.

Keywords : *sanitation, FSTP, discharge into the Niger River, purification efficiencies.*

1. Introduction

L'eau, ressource se trouvant à la surface et en sous face de la terre en grande abondance est indispensable à tous les aspects de la vie [1]. Malgré cette abondance, les problèmes d'avoir accès à la dite ressource et l'assainir après usage sont loin d'être résolus. Pour cela, diverses démarches sont entreprises dans le but non seulement d'en assurer l'accès, mais, surtout d'œuvrer à faire en sorte qu'elle soit potable [2]. Malgré ces grands efforts, ces ressources subissent de nos jours de graves agressions avec une dégradation avancée de leurs qualités, entamant ainsi leur rôle de garante de vie [3], à devenir une véritable menace de disparition de beaucoup de nos cours d'eaux [4]. « *N'étant pourtant pas un luxe, mais un droit* » (Organisation des Nations Unies, 1992), les pollutions issues des activités entropiques deviennent de plus en plus inquiétantes. C'est le cas notamment de Bamako qui est traversé par le fleuve Niger où d'ailleurs la faune et la flore aquatiques de ce milieu endurent de façon récurrente [5]. Le rejet brutal et massif de résidus dans ledit milieu dans cette ville a donc conduit à l'apparition de nombreux risques pour l'équilibre du milieu naturel et des écosystèmes. Bamako donc fortement développé à proximité de ce cours d'eau comme dans la plupart des villes africaines [6], connaît actuellement un développement industriel qui sous-tend une remarquable croissance économique [7]. Les producteurs et instigateurs de ce grand déséquilibre [3] avec les émissions des composés organiques et/ou inorganiques en concentrations élevées issues de leurs activités continuent d'asphyxier encore à travers la pollution. Ce corollaire de pollution dont les procédés détruisent fortement les sols et les lits des cours d'eau [8] est rarement accompagné par une intensification des mesures de dépollution [5, 7]. Ce fleuve étant l'épine dorsale du Mali en même temps que sa sève nourricière [9], ceci doit donc stimuler et encourager l'amélioration des techniques de dépollution et le développement de nouveaux procédés permettant de satisfaire et de se conformer aux normes internationales de plus en plus contraignantes [3]. Toutefois, une bonne connaissance des fluctuations de ce précieux patrimoine naturel (fleuve) est un préalable indispensable à une gestion efficace de cette richesse fugace [10, 11]. C'est dans ce contexte que l'idée d'une Station de Traitement de Boue de Vidange est née pour l'assainissement des

immeubles le long du fleuve Niger à Bamako en vue de répondre aux soucis de la sauvegarde environnementale. En dépit du déficit en assainissement collectif poussant les populations à se rabattre sur les systèmes d'assainissement autonomes dans les pays en développement [12], cette recherche répond à la fois à un recyclage des eaux provenant des 21 immeubles sujet de la présente étude et à une production de compost. Avec un coût relativement faible par rapport aux autres ouvrages de traitement [13], l'objectif de la STBV pilote est de mener à bout les problèmes liés à l'assainissement des bâtiments de grande envergure à Bamako en y proposant une vision qui tient compte de tout le fonctionnement de l'hydrosystème du Niger [14]. Nous nous évertuons donc à une méthode approchant l'eau de manière globale et intégrée et non sectorielle. [15]. L'objectif de la présente conception d'ouvrage d'assainissement s'inscrit dans le cadre de l'atteinte des objectifs de développement durable (ODD) faisant clairement apparaître que tout être a droit à un environnement sain dans un contexte où les systèmes mis auparavant avaient tous étalé des faiblesses néfastes.

2. Méthodologie

2-1. Présentation de la zone d'étude

Divisant la ville de Bamako en deux (2), le fleuve Niger est le poumon de la capitale du Mali. A grands pas de développement industriel, ses milieux aquatiques ont été transformés en exutoire de déchets et effluents. De part et d'autre, des immeubles de grandes envergures longent ce cours d'eau. Faisant en nombre 21 de type S+R+6 (Bâtiment avec sous-sol, Rez-de-chaussée et 6 étages), nous nous sommes évertués à mener à bout les problèmes liés à l'assainissement de ces ouvrages en choisissant l'un d'eux comme échantillon, illustré sur la **Figure 1** après avoir collecté les données nécessaires et y centrer les études.

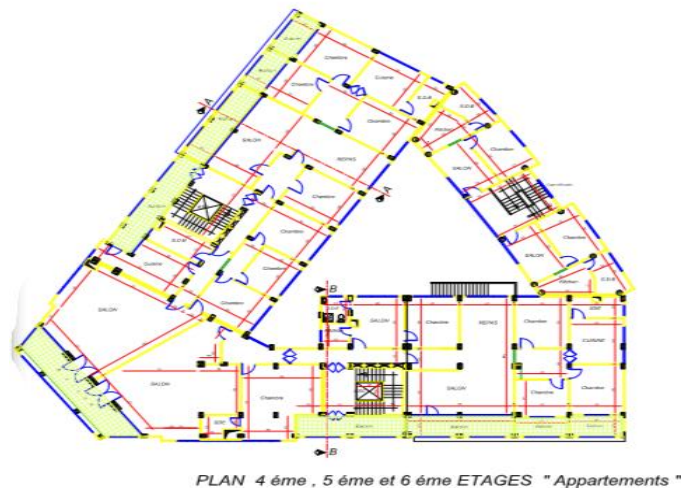


Figure 1 : Plan des niveaux 4,5 et 6 de l'immeuble échantillon

L'immeuble choisi au bord du fleuve pour servir d'échantillon est en forme de « V » renversé. Sis à Para Djicoroni en commune IV, il comporte six (6) niveaux avec un sous-sol. Le rez de chaussée est occupé par des boutiques, les 2^{ème} et 3^{ème} niveaux par des bureaux et les 4^{ème}s, 5^{èmes} et 6^{ème} constituent les appartements.

2-2. Matériel

Le matériel de collecte est composé d'un questionnaire pour les investigations auprès des services de tutelle, d'un guide d'entretien et d'appareils ; à savoir, le GPS, le pH mètre HANA HI 1832, le conductimètre HANA LF 330, le spectrophotomètre DR 2800, Oxymètre Modèle DO210, le turbidimètre Hach 2100p, la balance

analytique avec une précision de 0,0001g ADAM, modèle NBL124i, la rampe de filtration avec entonnoirs et supports de filtres et la pompe à vide.

2-3. Collecte des données

La méthodologie de ce travail s'appuie sur la collecte des données de sources secondaires et primaires (observations, entretiens) à la suite d'une recherche documentaire en vue de rassembler au mieux les données nécessaires à l'élaboration de ces recherches. Pour valider ou infirmer les hypothèses de recherche et les théories, les données quantitatives combinées aux données qualitatives ont été collectées et évoquées chaque fois que la nécessité s'est imposée.

2-3-1. Recherche documentaire

La collecte des données de sources secondaires constitue la première étape de cette recherche. Cette phase exploratoire a permis de confronter les problématiques abordées sur cette thématique de l'assainissement afin de définir l'angle d'approche adapté pour cette étude. Placé depuis plusieurs siècles au centre des préoccupations, le fleuve Niger à l'image des autres cours d'eaux africains a fait sujet de rédactions scientifiques de beaucoup de chercheurs comme les hydrologues, les géographes, les anthropologues, les économistes, les chimistes, etc. C'est ce fait qui explique du coup l'abondance de la documentation concernant cette étude [16]. Aussi, de façon claire, le rapport définitif de l'étude sur les services d'assainissement par mini-égouts au Mali de l'ONG (EAA) Eau et Assainissement en Afrique étale qu'en compagnie du Sénégal, le Mali est le pays d'Afrique où les expériences de services d'assainissement par « mini-égouts » sont les plus nombreuses. Dans ledit rapport, nous pouvons noter plus d'une trentaine de réseaux réalisés depuis 1996 par les acteurs du secteur en collaboration avec les autorités communales, les services techniques de l'Etat et les partenaires techniques et financiers, et les mini-égouts figurent désormais parmi les solutions préconisées dans le cadre de la Stratégie Nationale pour l'Assainissement. Ces mini-égouts sont implantés dans des zones urbaines denses comme dans des petits centres (région de Mopti, notamment). Tous ont en commun d'être situés dans des zones à nappe phréatique affleurant et/ou en bordure d'un fleuve (dans ce deuxième cas, les remontées d'eau par capillarité rendent difficile l'infiltration des eaux d'un puisard dans le sol) et d'habitat dense. C'est donc avant tout face aux limites de l'assainissement autonome que l'on a fait recours à ces mini-égouts. Cependant, le recours aux réseaux d'égout conventionnel ne correspond pas aux capacités d'investissement de l'état ni des collectivités locales et, leurs coûts d'exploitation n'étant pas, de toute évidence, en accord avec la capacité à payer des ménages. En outre, la station d'épuration de Sotuba mise sur pieds en 2016 n'a également pas réussi à mener à bout ces difficultés ressenties en matière d'assainissement le long du fleuve Niger à Bamako. Malgré les multiples efforts fournis par les services d'assainissement, cet ouvrage d'épuration a étalé beaucoup de faiblesses. Il s'agit entre autres des effets négatifs sur la biodiversité (écosystème aquatique et faune piscicole), l'atteinte de la qualité des eaux de surface et du cadre de vie de l'homme comme présenté sur la **Figure 2**. Aussi, la station n'échappait point à la production d'odeur si nauséabonde.



(1)



(2)

Figure 2 : Impacts du rejet d'eaux (1) sur la faune et (2) sur les riverains de la station d'épuration de Sotuba sur le fleuve (O. KASSAMBARA)

Imposant du coût à revoir le processus de conception d'un ouvrage de gestion de déchets liquides, nous nous joignons à ceux qui affirment respectivement que l'excès de sulfate nuit gravement à la dégradation anaérobie en rendant impossible la méthanisation et une production accrue d'hydrogène sulfuré (H_2S) avec un virage de la coloration alors synonyme de dysfonctionnement [17, 18]. Du coup, l'idée de tendre vers un autre type d'ouvrage plus performant et adapté s'est imposée.

2-3-2. Travaux de terrain

Les travaux de terrain ont consisté d'abord à faire des observations pour plus d'immersion totale en saisissant les subtilités d'atteinte d'objectivité [19]. Ensuite, des entretiens ont été menés avec des personnes ressources pour une bonne imprégnation du sujet avec les acteurs de tutelle visant à orienter les méthodes conceptuelles vers un ouvrage plus adapté aux réalités culturelles et techniques (nature du sol, morphologie du cours d'eau, etc.). Les entretiens, échanges et séances de travail avec les services (Direction et Agences) chargés de l'assainissement au Mali. Il s'agit principalement de la Direction Nationale de l'Assainissement et du Contrôle des Pollutions et des Nuisances (DNACPN), la Direction Nationale de l'Hydraulique (DNH), l'Agence Nationale de Gestion des Stations d'Épuration au Mali (ANGESEM), l'Agence du Bassin du Fleuve Niger (ABFN). Ces entretiens, échanges et séances de travail fleurissants ont permis de mûrir réflexion en vue de tendre vers un nouveau type d'ouvrage d'assainissement pour le traitement des eaux usées des grands immeubles le long du fleuve Niger à Bamako. Ces services proposent une amélioration de gestion des eaux de Bamako avant rejet dans le fleuve en ligne droite avec le décret N° 35 du 14 mars 1975 dont l'article 10 stipulant qu' : « Il est interdit de déverser dans les cours d'eau des matières susceptibles de nuire au poisson » au Mali.

2-4. Conception et adoption d'une Station de Traitement de Boues de Vidange

2-4-1. Description

Une Station de Traitement de Boue de Vidange (STBV) est un ouvrage de plomberie de type assainissement destiné à traiter les eaux usées domestiques et/ou industrielles en vue de procurer la santé aux populations conformément aux Objectifs de Développement Durable (ODD₆).

2-4-2. Traitement

L'objectif primordial du traitement est de faire en sorte que les matériaux traités puissent être valorisés ou rejetés dans l'environnement en toute sécurité [20]. Sans le moindre doute, tous les procédés de traitement des boues de vidange liquides et la plupart des procédés de traitement des boues de vidange plus épaisses produisent un effluent liquide et un résidu de boue. D'ailleurs, pour mieux appréhender la notion des boues, il convient au passage de comprendre qu'on distingue deux (2) types de boues : les boues urbaines, résidus de l'épuration des eaux usées domestiques et les boues industrielles produites par les unités de traitement des eaux industrielles. Pour ce qui est des caractéristiques essentielles des eaux usées ou boues de vidange, elles dépendent en grande partie du degré de pollutions ; c'est-à-dire, à l'augmentation de la concentration en substances ou en énergie liée aux activités humaines [6]. On distingue trois types de pollutions : physique (variations de température, radioactivité), chimique (substances toxiques, matières organiques fermentescibles) et biologique (micro-organismes) [21] avec des activités humaines au centre.

- **Mode de traitement**

Le traitement emprunté lors de la conception d'un ouvrage de gestion de boue de vidange va toujours de pair avec une série de traitement et d'études de paramètres. Généralement, un mécanisme de prétraitement, traitement primaire, traitement secondaire, traitement tertiaire est utilisé. *Le prétraitement* : il correspond à

la 1ère étape du processus de traitement. Il permet de débarrasser les effluents des éléments grossiers susceptibles de gêner le fonctionnement des ouvrages ou d'influer négativement sur les performances des étapes suivantes [22 - 24]. Les opérations de prétraitements sont généralement physiques ou mécaniques. Pour la présente expérimentation, le système est composé de traitements primaire (où le procédé physique et/ou chimique comprenant la décantation des matières solides en suspension est accentuée) et secondaire (reproduction, artificiellement ou non, du phénomène d'autoépuration existant dans la nature avec comme le lagunage l'exemple parfait. La combinaison de la décantation avec un traitement physicochimique de type coagulation-floculation permet d'avoir de meilleurs résultats [25, 24]. Enfin, un processus de déshuilage est aussi pris en compte pour éliminer récupérables en surface à l'aide d'une raclette [20]. Par ailleurs, la circulation de l'air dans les boues est entravée par la présence d'éléments solides et est subordonnée à un brassage suffisant [26]. Avec une digestion anaérobie, les micro-organismes décomposent les matières organiques et les transforment en biogaz principalement composé de méthane et de dioxyde de carbone. Selon la technologie utilisée pour ce procédé, le biogaz peut être récupéré et réutilisé comme combustible.

2-4-3. Dimensionnement

Pour convenablement dimensionner une STBV, il paraît évident de suivre un cheminement bien concis. L'essentiel de ce travail commence par l'évaluation du volume des boues par :

$$Vu = Nu.Fv.Ta \quad (1)$$

Nu étant le nombre d'usagers, *Ta* le taux d'accumulation de la boue compris 65 à 180l/hab/an et *Fv* la fréquence de vidange.

Ce volume de boues à évacuer annuellement reste différent du volume de celui du biodigesteur qui emmagasinera périodiquement les boues en vue de les faire passer au fur et à mesure. Le volume et les dimensions du digesteur constituent les éléments les plus importants à prendre en compte lors de la conception.

- **Le volume du digesteur**

Il est déterminé comme suit :

$$V_{\text{digesteur}} = Q_{T,BD} \times R_{BD} \quad (2)$$

$V_{\text{digesteur}}$ étant le volume total du digesteur (m^3), $Q_{T,BD}$ le débit d'écoulement hydraulique nominal (m^3/jour) et R_{BD} le temps de rétention dans le biodigesteur. En ce qui est du temps de séjour souvent pris égal au temps de rétention hydraulique, il est de l'ordre de 15 à 30 jours [27] (car, s'il court, la méthanogènes ne peut avoir lieu, entraînant ainsi une acidification du réacteur). L'adoption de ce temps permet de réduire la production d'odeur de façon considérable. Le volume total du biodigesteur nécessaire doit être réparti entre deux (2) digesteurs au minimum tout en prévoyant une marge pour permettre la continuité des opérations lorsque l'un des digesteurs est arrêté pour procéder à l'élimination des boues ou pour réparation [17].

- **Le débit d'écoulement hydraulique ($Q_{T,BD}$)**

C'est le volume de boues reçues par l'intermédiaire de la conduite d'alimentation du biodigesteur. Il est fixé par une section déterminée par l'évacuation globale des différents immeubles de notre localité. Il s'exprime simplement par l'Équation de Manning-Strickler.

$$Q_{T,BD} = ks.S.R^{2/3}.I^{1/2} \quad (3)$$

avec, *Ks* coefficient de Maning-Strickler (140 pour PVC-P), *S* section d'écoulement de la conduite d'amenée, *R* rayon hydraulique et *I* la pente donnée à la conduite d'amenée.

- **Le temps de rétention**

Il définit la durée que les boues devront passer dans l'une des deux (2) unités du biodigesteur.

$$TRH = 2 \cdot \frac{(n-1) \cdot V_{\text{digesteur}}}{QT \cdot BD} \quad (4)$$

Toutefois, cette durée de rétention va toujours de pair avec le taux de déversement superficiel (TDS) s'écrivant comme suit :

$$TDS = 24 \cdot \frac{Q_{pj}}{t_{op} \cdot AT} \quad (5)$$

- **Charge nominale en kg/h (L_s)**

$$L_s = \frac{QT \cdot BD \cdot P_j \cdot MES_i}{t_{op}} \quad (6)$$

L_s étant la charge nominale en kg/h, MES_i la teneur moyenne en MES de l'influent en g/l (kg/m³) Q_i étant le débit moyen vers la station (m³/j), P_j le coefficient de pointe journalier présumé ou évalué ; t_{op} la durée d'exploitation de l'installation en heures par jour (h/j).

- **Surface totale du lit de séchage**

Il définit l'étendue totale d'épandage des boues. (L_s) par la charge admissible (Solids loading Rate-SLR en anglais).

$$A_T = \frac{L_s}{SLR} \quad (7)$$

L_s étant la charge nominale et SLR le taux de chargement des solides (Solids loading Rate-SLR en anglais).

- **Taux d'accumulation des matières solides dans le biodigesteur et détermination de la fréquence de retrait**

$$MSa = Q_{T,BD} \cdot (MES_i) \quad (8)$$

MSa étant le taux d'accumulation des matières solides en kg/jour, Q_{T,BD} le débit journalier en m³/j (varie jusqu'à un maximum de q_{ipj}), MES_i étant la concentration de matières en suspension dans les boues entrantes en g/l (ou en kg/m³). Si MES_i reste constant, le taux d'accumulation des matières solides augmente jusqu'à atteindre un point maximal q, %MESabat le pourcentage d'abattement des matières sèches dans l'épaisseur. Et le taux d'accumulation des boues est donné par l'Équation suivante :

$$Q_{\text{boues}} = \frac{100MSa}{\%MS \times \rho_{\text{boues}}} \quad (9)$$

Q_{boues} le taux d'accumulation volumétrique des boues en m³/j, %MS Pourcentage de matières sèches contenues dans les boues extraites du fond du biodigesteur et ρ_{boues} la densité des boues.

Cette densité des boues peut atteindre 1000 kg/m³. La siccité de la boue retirée du fond du biodigesteur dépend de la nature et de la teneur en matières sèches des boues entrantes. Pour les boues activées, la teneur est de 2 à 3 % pour les boues activées, 5 à 10 % pour les boues primaires et 12 % pour les boues primaires digérées en anaérobiose provenant des digesteurs primaires [28, 29]. Le personnel d'exploitation doit décider d'un système approprié d'évacuation des boues sur la base de leur expérience opérationnelle dans la station. Cette notion définit la masse et le volume de boues extraites lors de chacune de ces opérations de déshydratation.

- **Masse de boues extraites**

$$m_w = \frac{MSa}{f_{vidange}} \quad (10)$$

- **Volume de boues extraites**

$$V_{boues} = \frac{m_w}{\%MS \times \rho_{boues}} = \frac{MSa \times 100}{f_{vidange} \times \% \rho_{boues}} \quad (11)$$

fvidange étant le nombre de vidange au cours d'une journée type, m_w étant la masse de boues retirées lors de chaque vidange et V_{boues} le volume de boues humides lors de chaque vidange.

Il reste possible de décider d'abord de la fréquence d'évacuation des boues, puis d'utiliser les équations pour calculer la masse et le volume des boues enlevées. La meilleure solution consiste à déterminer la fréquence de vidange des boues pour retirer un volume défini. Dans ce cas, la deuxième **Équation** est réorganisée de façon suivante :

$$f_{vidange} = \frac{MSa \times 100}{V_{boues} \times \%MS \rho_{boues}} \quad (12)$$

2-4-4. Description de la Station de Traitement de Boue de Vidange pilote de Dioila

2-4-4-1. Présentation

La Station de Traitement de Boues de Vidange de Dioila se compose essentiellement de quatre (4) composants; à savoir, le biodigesteur, le lit de séchage, le décanteur et le filtre.



Figure 3 : *Vue en perspective STBV pilote de Dioila*

L'ouvrage se compose comme indiqué sur la **figure 4** d'un biodigesteur dont le rôle essentiel est de recevoir les boues liquides, les emmagasiner avant de les faire passer à un lit de séchage destiné à recevoir ces déchets afin de les exposer au soleil pour les transformer en compost, d'un décanteur visant à recevoir les eaux pré traitées avant de les faire passer vers un filtre qui s'occupera de la distillation de ces eaux arrivantes.

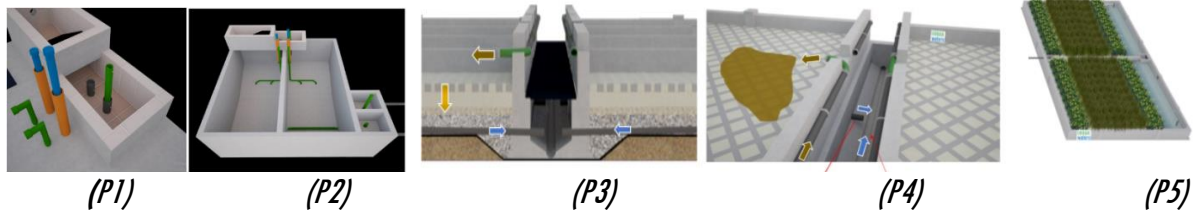


Figure 4 : Différentes parties (P1) et (P2) du biodigesteur, (P3) et (P4) du lit de séchage et (P5) du filtre de la STBV

Au fond du lit de séchage, le drainage des eaux sera assuré par des conduites en PVC-P fentés (**Figure 5**).



Figure 5 : Images tuyaux fentés utilisés dans le lit de séchage

2-4-4-2. Fonctionnement général du système

De façon globale, le biodigesteur, premier compartiment de l'ouvrage et composé de deux (2) lagunes pour la décantation créera d'abord la pression hydraulique nécessaire pour booster les liquides par principe de la presse hydraulique au moyen des deux (2) conduites DN160. Ensuite, les boues (malaxée par pompe au besoin [30]) jailliront à travers les deux (2) conduites DN110 disposées en console pour l'alimentation du lit de séchage composé de dix (10) compartiments qui seront alternativement utilisés. Par déversement alterné dans les compartiments, ce lit assurera un traitement par l'intermédiaire des granulats (graviers et sable) sur 20cm d'épaisseur chacun. Puis, par filtration dans chaque compartiment, les eaux ruisselleront dans le couloir pour le décanteur. Enfin, au décanteur de les drainer vers le filtre où un nettoyage à travers le sable sera exécuté d'approvisionner la bananeraie en eau recyclée. Les plantes dans le filtre choisies sont les roseaux en raison de leur fort indice foliaire qui favorise l'évapotranspiration et de leur croissance rapide ayant des besoins importants en eau. Au biodigesteur comme au lit de séchage, au décanteur jusqu'au filtre, le sol est étanche en vue d'éviter la contamination de la nappe. L'écoulement des eaux se fait par gravité, grâce à la pente donnée aux canalisations et à l'ouvrage depuis le biodigesteur jusqu'au filtre. L'interconnexion entre les différents composants est gravitaire par la technicité topographique de pente utilisée à la lettre en vue d'assurer le fonctionnement correct du système.

2-4-4-3. Dimensions de la station pilote de Dioila

La conduite de dimensionnement ainsi proposée par les équations admises dans la conception des Stations de Traitement des boues de Vidange en lien avec les réalités du terrain et du niveau de vies des populations ont permis d'aboutir aux dimensions suivantes : (i) volume annuel de la station 600m³, (ii) volume du biodigesteur 50m³ reparti en deux (2) compartiments de 25 m³ chacun (voir plans), un lit de séchage de 570,50 m² subdivisés en dix (10) compartiments (voir plans en annexes), un décanteur de 4 m × 2 m et un filtre de 18 m × 10 m, (iii) un temps de séjour de 15 jours dans le biodigesteur, (iv) un TDS de 2m³/j un temps de rétention de 12 h et (v) 50 kg/j de matières en suspension pour 0,10 m³/j. Nous avons pris en compte les hypothèses suivantes : le coefficient de pointe journalier pris à 1,5 ; le % d'abattement des MES pris à 60 % ; la profondeur jusqu'en haut du biodigesteur (voir sur le plan 3,05 m) ; deux (2) unités pour le biodigesteur, une densité des boues égale à 1000 kg/m³ ; une siccité des boues de 6 % (%MS); une concentration en matières solides des boues entrantes de 20 000 mg/l ; 2000 usagers et un taux d'accumulations de 150litres/habitant/an et une fréquence de vidange de deux (2) ans.

2-4-4-4. Alimentation de la STBV

Plutôt que de prendre place à Bamako le long du fleuve, pour directement recevoir les eaux usées des immeubles sujet de nos recherches, nous avons jugé nécessaire d'aller expérimenter ailleurs compte des facteurs écologiques et fonciers. Dans l'optique de mieux refléter les réalités de Bamako, la berge du fleuve a servi d'espace pour cette station pilote à Dioila. Si à Dioila la STBV (expérimentale) est alimentée par deux (2) camions de vidange, celle de Bamako le sera simplement par un réseau d'assainissement réunissant les 21 immeubles sujet de la présente étude. Pour cela, il paraît logique que chaque immeuble soit doté d'un système d'évacuation approprié. L'emplacement de cet ouvrage à Bamako se trouve idéalement en aval de la ville, à l'une des berges pour non seulement collecter les eaux de l'ensemble des immeubles, mais aussi réduire les risques de contamination. Oui, réduire certes les risques de contamination dans une ville où l'alimentation en eau des populations se fait à partir du fleuve ; l'ouvrage doit donc être à l'aval de la prise. Aussi, pourra-t-on ainsi espérer une auto épuration avec les résultats déjà obtenus au fil de l'écoulement.

- **Conception du réseau intérieur d'évacuation**

Avant rejet dans le fleuve, il paraît judicieux de proposer un système d'évacuation au niveau de chaque immeuble. Ces canalisations qui peuvent être en fonte, en amiante ciment, en plomb, en acier, en grès vernissé ou en PVC seront pour le cas présent en PVC-P dument habillés en peinture pour plus de commodité visuelle et protection thermique.

- **Dimensionnement des canalisations d'évacuation**

Les conduites d'évacuation seront dans les montantes et de deux (2) types ; à savoir, celles des eaux ménagères et celles des eaux vannes. Les 2 types seront séparées et/ou distinctes. Contrairement à un système d'approvisionnement en eau, les eaux usées des appartements, bureaux et boutiques peuvent être évacuées par les mêmes conduites. Notre immeuble est conçu pour abriter environ 2000 usagers. De par la vue en plan de ce bâtiment, les conduites doivent passer à travers des colonnes montantes. Cinq (5) au total, chacune d'elles reçoit les eaux usées et vannes des cuisines et toilettes qui lui sont proches en termes de balayage hydraulique. Les calculs reposent d'une part sur le principe de vitesse d'écoulement de 2 m/s avec une pente de 3 % et en d'autre sur la relation fondamentale de calcul de débit faisant intervenir la vitesse et la section : en fonction du débit (Q) et de la vitesse, sans trop d'accent sur la pression aux différents points de puisage et ce, à travers la relation connue de tous :

$$Q = v \times s \quad (13)$$

V étant la vitesse (en m/s) et s la section (en m²).

En outre, le processus de choix de diamètre pour les conduites d'évacuation doit sans nul doute tenir de la simultanéité d'évacuation des appareils. La considération de cette simultanéité vise à réduire autant que possible les diamètres choisis. Cette notion engendre toujours une corrélation entre le débit à évacuer en fonction de la vitesse ainsi qu'il suit :

$$Q_p = \sum q.k \quad (14)$$

avec, $\sum q$ somme des appareils asservissant le tronçon et k le coefficient de simultanéité qui ne doit pas être inférieur à 0,2 pour des mesures de prudence (k avec x le nombre d'appareils). Ce constat est donc logique que nous ayons pour ce faire, une valeur de K égale à 0,20 au regard de nombre d'appareils à évacuer à chaque colonne.

• **Calcul type des conduites de la colonne**

Nous avons cinq (5) colonnes pour l'évacuation des eaux usées ; c'est-à-dire, celles destinées à alimenter la STBV. Le présent calcul portera sur la colonne A, dite colonne type et toutes les autres seront analogues à celle-ci et ce, en fonction du nombre d'appareils.

***Eaux ménagères**

Tableau 1 : Calcul des diamètres d'eaux ménagères de la colonne A

Appareils	Nombre	Débit (l/s)
Evier	6	1,2
Douche	26	3,9
Robinet de puisage	26	13
Lave-linge	3	0,60
Lavabo	26	2,6
Baignoire	3	0,90
Total	90	24,8

- ✓ Pour la colonne montante : Conduite PVC-P de diamètre de 99,60 mm, un $\phi 110$ (DN110).
- ✓ Pour les appareils groupés : Le $\phi 90$ (DN90) sera retenu à chaque niveau.
- ✓ L'évacuation de chaque appareil sera conforme aux prescriptions du tableau 2, relatifs aux diamètres d'évacuation des appareils.
- ✓

***Eaux vannes**

Tableau 2 : Calcul des diamètres d'eaux vannes de la colonne A

Appareils	Nombre	Débit (l/s)
W.C	26	1,5
Total	26	13

- ✓ Conduite de $\phi 125$ (DN125) pour la colonne montante et $\phi 90$ (DN90) pour chaque W.C.

Pour l'évacuation générale des eaux usées et eaux vannes de l'immeuble en vue de rejoindre le réseau d'alimentation de la Station de Traitement de Boues de Vidange, le système des deux (2) est identique au principe de dimensionnement de chaque colonne ; c'est-à-dire, la prise en compte du principe du débit total à évacuer allant simplement de pair avec le nombre d'appareils sanitaires. *Conduites d'évacuation générale d'eaux ménagères.* La considération du débit de l'ensemble des eaux évacuées à travers les 5 colonnes a conduit à une conduite de $\phi 160$ (DN160) pour l'évacuation principale des eaux usées. *Conduites d'évacuation générale d'eaux vannes.* La considération du débit de l'ensemble des eaux évacuées à travers les 5 colonnes a conduit à une conduite de $\phi 250$ (DN250) pour l'évacuation principale des eaux vannes.

• **Evacuation des eaux pluviales**

Les eaux pluviales seront recueillies par des chéneaux qui reposent sur le mur dans l'optique de réduire les chutes d'eau avec des diamètres calculés en projection horizontale à des débits de 3l par minute et par mètre carré de surface calculée en plan (soit 0,05 l/s). Les conduites commerciales peuvent découler selon la norme française N.F.P. 30 201. Il ressort donc pour les 2 ailes ce qui suit :

- ✓ L'aile droite avec sa longueur de 30,62 m pour une largeur de 14,45 m aura 6 chéneaux et chaque chéneau évacue à travers un PVC-P DN110.
- ✓ L'aile gauche avec sa longueur de 33,61 m pour une largeur de 13,9 m et comportera par conséquent 6 chéneaux et chaque chéneau évacue à travers un PVC-P DN110.

Pour des raisons d'uniformité et par le même raisonnement, tous les chéneaux admettent la même dimension exceptée les 4 de la demi-aile où l'on ne retiendra que le PVC - P DN90. Les chéneaux ainsi retenus évacueront vers l'extérieur de la cour en faisant ruisseler vers les caniveaux du réseau public d'eaux pluviales.

3. Résultats et discussion

Les résultats ainsi présentés sont ceux obtenus après un (1) an de mise en service de la STBV de Dioila. Nous pouvons dénoter au sujet des résultats issus d'Analyses à Composantes Multiples (ACM), des Analyses Factorielles de Correspondance (AFC) avec compilation sur Excel 2013 a pour la réalisation des figures, des atouts d'ordre technique et financier.

3-1. Atouts d'ordre technique

3-1-1. PH

Tableau 3 : Différentes valeurs de PH

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	8,2	8,2	8,22
Pab	7,43	7,41	7,28
Pf	7,4	7,35	7,17
Pplantes	7,34	7,28	7,2
Pfleuve	7,42	7,39	7,3

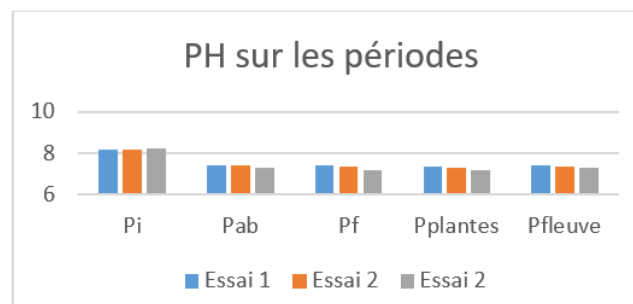


Figure 6 : Diagramme des valeurs de PH

Les valeurs moyennes de PH avant rejet sont conformes aux normes maliennes. Cette valeur en tout point d'essai est supérieure à 7 sans atteindre 8 sur aucune période. De l'essai à l'essai 3, le PH varie de 7,20 à 7,43, largement compatibles avec le développement des bactéries qui assurent l'épuration des boues. Ainsi, la croissance de certaines bactéries impactant l'efficacité du traitement sera limitée par certains paramètres selon le même angle de vision que [31]. Ces données ont aussi été rapportées par [32] qui affirme que les bactéries de la nitrification telles que Nitrosomonas se multiplient dans un milieu alcalin avec un PH compris entre 7,4 et 9 tandis que celles de la nitrification croissent dans un milieu dont le PH est 8,5 et 9,1.

3-1-2. Conductivité

Tableau 4 : Différentes valeurs de conductivité

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	2900	2900	2900
Pab	1950	1820	1620
Pf	1200	1375	1415
Pplantes	1370	1280	1560
Pfleuve	1375	1330	1120

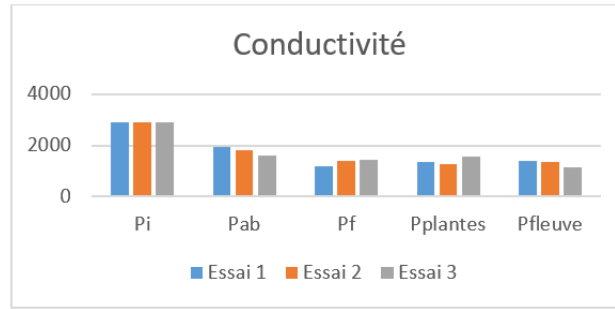


Figure 7 : Diagramme de valeurs des conductivités

De ces résultats, on constate que les boues peu minéralisées et sont facilement fermentescibles aux teneurs en polluants organiques biodégradables. Ces valeurs non élevées de la conductivité est un point favorable de notre processus de traitement car, il n'engendra que peu de modification dans l'écosystème avec peu d'influence sur la survie de la faune et flore aquatiques. Aussi, ces valeurs nous mettent à l'abri du colmatage pour le peu de salinité avec sans impact négatif sur de bon nombre de spéculations en agriculture [32].

3-1-3. MES

Tableau 5 : Différentes valeurs des MES

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	723	680	650
Pab	541	475	470
Pf	97	101	101
Pplantes	28	29	28
Pfleuve	29	28	27

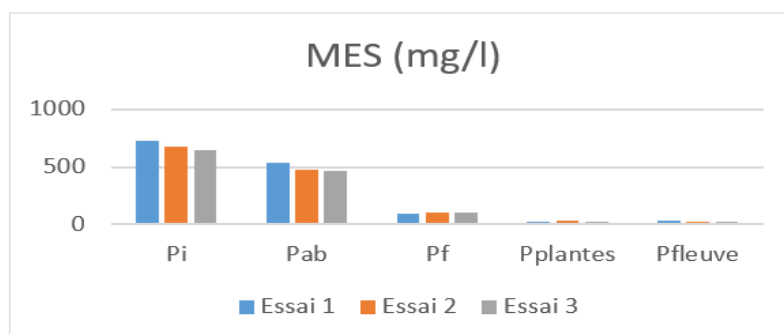


Figure 8 : Diagramme de valeurs des MES

Les valeurs MES obtenues lors des essais 1, 2 et 3 sont respectivement 28 mg/l, 29 mg/l et 29 mg/l contre respectivement celles de 29 mg/l, 28mg/l et 27 mg/l pour le fleuve à l'amont au cours des périodes indiquées. Nous notons avoir au cours de ces essais avoir traité à 96,12 % au cours du premier trimestre, 95,73 % au cours du second trimestre et 95,69 % au troisième trimestre de mise en service de l'ouvrage. Ce constat rejoint celui [3] qui était à 42,49 mg/l qui était avec une chargée. Conformément aux normes de rejet dans la nature sont dues aux précipitations qui arrosent la station et des conditions de décantation idéales [32].

3-1-4. Oxygène dissous (mg/l)

Tableau 6 : Différentes valeurs des MES

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	0,11	0,11	0,12
Pab	0,15	0,16	0,16
Pf	0,17	0,19	0,2
Pplantes	0,43	0,47	0,55
Pfleuve	4	4,1	4,2

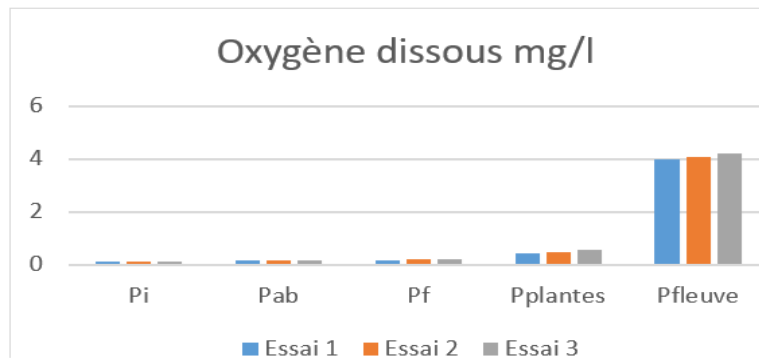


Figure 9 : Diagramme de valeurs des OD

Les valeurs des teneurs en oxygène dissous sont très faibles par rapport aux normes de rejet et à celles mesurées d'ailleurs à l'amont du fleuve. Ce fait est dû au fait que les boues ont été sous conditionnement anaérobie avant leur exposition. Le même constat avait aussi été rapporté par [32] qui avait des valeurs oscillant entre 0,17mg/l et 0,35mg/l lors d'une étude de caractérisation des boues de vidange à Zagtouli (Ouagadougou) avant de conclure que le phénomène est simplement causé par la présence de en suspension.

3-1-5. DCO (mg/l)

Tableau 7 : Différentes valeurs des DCO

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	900	900	895
Pab	650	625	620
Pf	325	300	270
Pplantes	195	170	165
Pfleuve	140	130	125

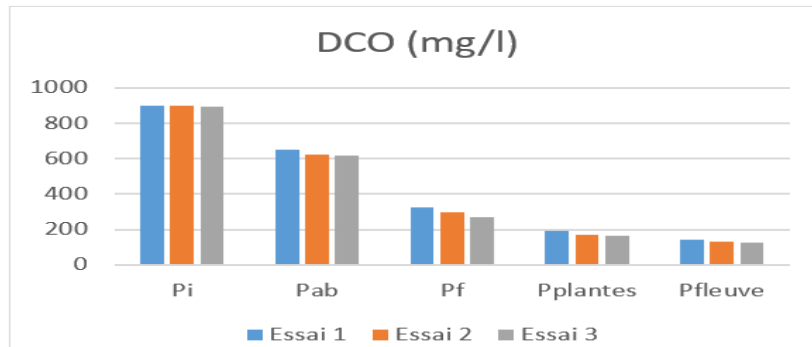


Figure 10 : Diagramme de valeurs des DCO

Les prélèvements effectués font largement ressortir des valeurs de DCO nettement supérieures aux normes de rejet dans la nature. Malgré ces valeurs, elles sont comparativement faibles à celles obtenues par d'autres auteurs dans d'autres pays [33 - 35].

3-1-6. DBO5 (mg/l)

Tableau 8 : Différentes valeurs des DBO5

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	145	140	140
Pab	140	130	125
Pf	110	100	95
Pplantes	80	70	65
Pfleuve	45	40	40

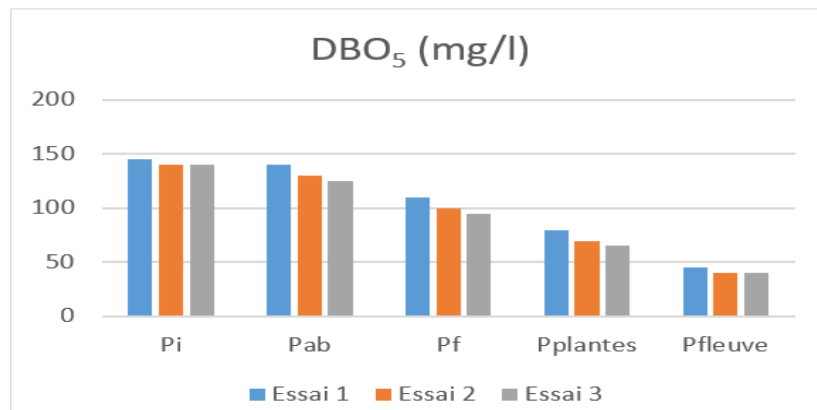
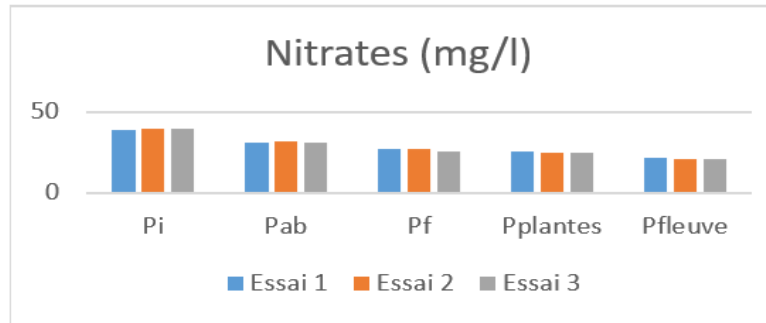


Figure 11 : Diagramme de valeurs des DBO5

Les valeurs DBO5 elles aussi dépassent les normes de rejet dans les cours d'eau dû simplement aux conditions et temps de séjour des boues. Ce fait s'explique par la grande dilution des boues lors de leur traitement. Ces valeurs qui sont relativement élevées par d'autres auteurs à Ouagadougou [36] et à Yaoundé [37], les boues restent fermentescibles. Surtout, le rapport DCO et DBO5 sur toutes les mesures sont nettement supérieures en tous les points et à toutes les périodes à 2,40 ; ce qui traduit leur aspect dégradé.

3-1-7. Nitrates NO_3^- (mg/l)**Tableau 9 : Différentes valeurs des NO_3^-**

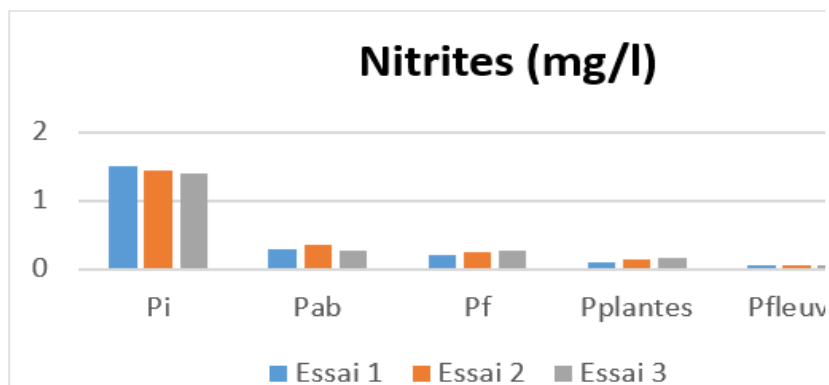
Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	39	40	40
Pab	31	32	31
Pf	27	27	26
Pplantes	26	25	25
Pfleuve	22	21	21

**Figure 12 : Diagramme de valeurs des NO_3^-**

Dénotant une bonne nitrification lors de la déshydratation des boues, la concentration moyenne en nitrates respecte les critères de rejet selon les normes maliennes. Ainsi, on réussit à éviter le risque de pollution des eaux de surface et souterraines comme signalé par [38] ; de même que [39].

3-1-8. Nitrites NO_2^- (mg/l)**Tableau 10 : Différentes valeurs des NO_2^-**

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	1,5	1,45	1,4
Pab	0,3	0,35	0,28
Pf	0,2	0,25	0,26
Pplantes	0,1	0,15	0,16
Pfleuve	0,05	0,06	0,05

**Figure 13 : Diagramme de valeurs des NO_2^-**

Les ions nitrite, forme oxydée de l'azote, ne sont pas stables ; ils évoluent en nitrates en milieu aérobie tel le cas dans le processus de déshydratation sur le lit de séchage. Les teneurs relevées restent inférieures aux objectifs de qualité imposés par le législateur qui est de 0,9 mg/L. Cela est favorisé par la bonne condition de nitrification, et confirme l'instabilité de cette forme de l'azote qui évolue instantanément en nitrate.

3-1-9. Ammonium NH_4^+ (mg/l)

Tableau 11 : Différentes valeurs de NH_4^+

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	135	130	130
Pab	70	60	60
Pf	56	50	50
Pplantes	35	33	33
Pfleuve	30	29	29

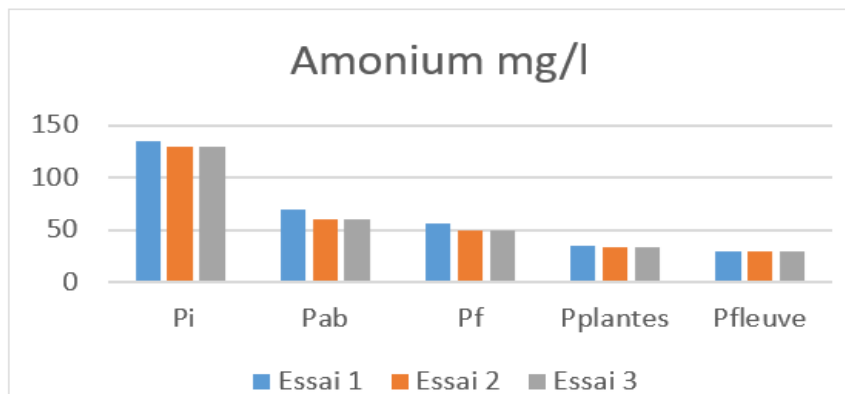


Figure 14 : Diagramme de valeurs en ammonium

A travers les teneurs ainsi obtenues, nous découvrons que l'essentiel de l'élimination d'ammonium se passe dans le lit de séchage avec un rendement épuratoire de 74,70 %. En effet, en dépit de l'oxygénation du milieu, compte tenu de la grande surface des lits et la porosité du massif filtrant, les L.S présentent une faible nitrification. Du même point de vue que [32], ce fait pourrait être dû à un temps de séjour hydraulique plus court ce qui se traduit par une percolation plus rapide liée également à l'accroissement du débit d'alimentation. D'autre part, il est reconnu que l'ammonium s'adsorbe fortement sur le support de filtration [40].

3-1-10. Phosphore PH_4^{3-}

Tableau 12 : Différentes valeurs de PH_4^{3-}

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	55	58	56
Pab	33	34	34
Pf	17	19	20
Pplantes	13	15	14
Pfleuve	12	12	12

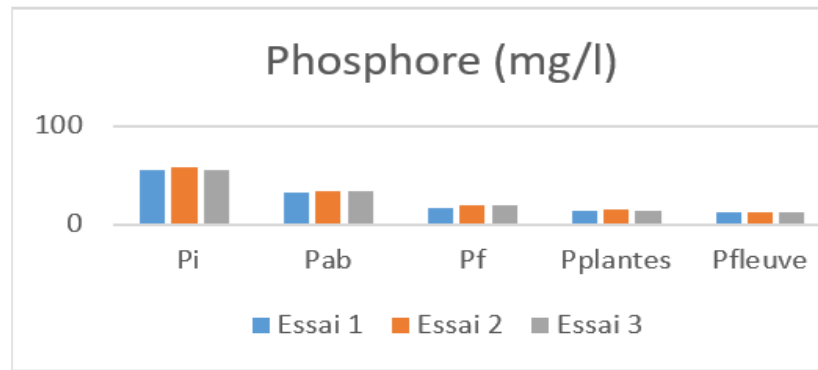


Figure 15 : Diagramme de valeurs en Phosphore

Les teneurs en phosphore des eaux usées avant traitement étaient carrément polluées suite aux activités anthropiques. Le processus de traitement mis sur pied lors des trois (3) tests a respectivement procuré un rendement de 76,36 %, 74,13 % et 75 %. Ces nutriments peuvent être mis à profit dans l'agriculture, mais à des teneurs élevées, ils peuvent contribuer à l'eutrophisation des eaux de surface qui constitue un réel danger à la flore et à la faune aquatiques [41].

3-1-11. Fer

Tableau 13 : Différentes valeurs de Fer

Paramètres	Essai 1	Essai 2	Essai 3
Pi	2,75	2,7	2,76
Pab	2,1	2,01	2,01
Pf	1,9	1,88	1,78
Pplantes	1,4	1,4	1,45
Pfleuve	1,2	1,2	1,2

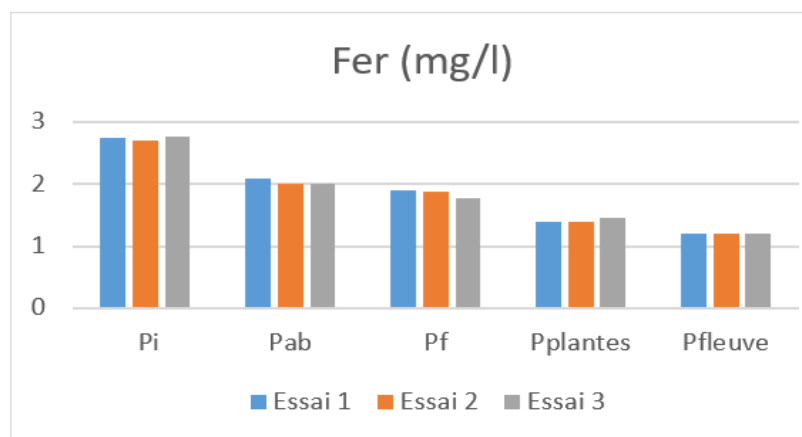


Figure 16 : Diagramme de valeurs en Fer

Conformes aux normes de rejet, nous avons abouti à un rendement de traitement en fer lors du 3^{ème} essai de 47,63 %. Ce résultat est du même sens que celui [3] sur les eaux de la rivière Mamouwol en obtenant avec un rendement de 62,50 %.

3-1-12. Paramètres microbiologiques

Selon M. KONE, très peu de travaux sur les traitements des Boues de vidange se sont intéressés à la qualité bactériologique des percolâts issue de ces boues [32]. Des études de [35, 42] ont obtenu des abattements supérieurs à ceux retrouvés dans notre expérimentation. Nous avons obtenu les coliformes fécaux (C.F) et streptocoques fécaux (SF) d’eaux usées traitées avec des concentrations moyennes de $0,8.10^4$ à $1,05.10^4$ UFC/100mL et de $0,99.10^4$ à $4,4.10^4$ UFC/100mL respectivement pour les CF et les SF. D’autres valeurs concernant ces paramètres ont été apportés à l’issu d’études. Il s’agit de conformément au tableau ci-après :

Tableau 14 : *Quelques valeurs de paramètres obtenus ailleurs (Source : M. KONE et al., 2016)*

Paramètres	Ouagadougou (Zagtouli)	Baro (Jahara) en 2012	Almuzan 2008	Radahaidah and al Zboon (2011) Jordaie
CF (UFC/100ml)	$3,2.10^5$	$3,01.10^5$	$4,62.10^8$	$4,6.10^8$
SF (UFC/100ml)	$3,08.10^5$	$2,2.10^6$		

Les analyses bactériologiques permettent toujours de guider le choix de la technologie de désinfection du lixiviat éventuellement. D’ailleurs, ces analyses présentent un intérêt compte tenu des risques de contamination des eaux de surface [43].

- ***Variation des paramètres dans le temps et dans l’espace***

A travers les résultats ainsi étalés, nous comprenons sans doute que les paramètres de traitement évoluent dans le temps (les valeurs d’un essai à un autre changent) et dans l’espace (du premier milieu, c’est-à-dire, biodigester au dernier, filtre, les valeurs changent). Ces évolutions ont aussi été rapportées [32, 44, 45].

3-2. Atouts d’ordre financier

Au delà des atouts techniques étalés ci-haut, la Station de Traitement de Boue de Vidange revêt un soulagement sur le plan financier. En effet, à l’issu d’une étude menée à Dakar sur l’évaluation économique-financière comparée du système d’assainissement collectif et du système de gestion des boues de vidange en 2008, il ressort clairement que même le système tout à l’égout le moins cher est plus coûteux (environ 6 fois) que la GBV. Par ailleurs, l’étude a montré que la GBV présente plusieurs externalités positives telles que le fonctionnement (entretien et mode de gestion) et le renforcement de la main d’œuvre locale. Ainsi l’approbation de la GBV sera un outil avantageux dans la mesure où, elle fera l’économie de gros investissements pour les bailleurs et constituera également un secteur générateur de revenu.

4. Conclusion

Cette étude s’était fixée comme objectif, expérimenter une station de traitement de boues de vidange pour assainir les immeubles de plus de six (6) niveaux le long du fleuve Niger à Bamako. Elle a permis de proposer un système de traitement efficace des boues provenant de ces ouvrages bondant le long de ce cours d’eau. En effet, les analyses physico-chimiques et bactériologiques y effectuées étalent que les boues qui ont été dépotées à la station sont riches en matière organique, en nutriments NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} et en bactéries pathogènes. Mais, le suivi de ces paramètres au niveau des différentes unités de traitement montre une bonne performance en élimination de la matière organique exprimée par la DCO et la DBO_5 , des ions ammonium, ortho-phosphate, nitrite et nitrate. Les eaux s’infiltrent dorénavant pour le fleuve répondre aux normes de rejet dans la nature. Au delà de cette correction physico-chimique et bactériologique, la STVB a mis

à disposition une nouvelle unité de production de compost, devenant ainsi source de revenus par la création d'emploi pour une dizaine de personnes. Enfin, ce dispositif de STBV et produits correctifs est une alternative sûre pour les pays en développement dans la gestion des eaux usées et le recyclage des eaux de grande immeuble au même titre que le Charbon Actif en Poudre sur coques d'arachides l'est dans la gestion et recyclage des déchets agricoles.

Références

- [1] - ALASSANE TOURE, Contribution à la résolution du problème d'alimentation en eau potable des bâtiments de hauts standings : cas des immeubles de plus de 6 niveaux le long du fleuve Niger à Bamako, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 40 (2022) 124 - 140, ISSN 1813-3290, <http://www.revist.ci>
- [2] - CISSE ALOU HAMADOUN, Socio-Economiste au Comité pour la défense de l'Eau, "Mieux comprendre la problématique de l'eau au Mali", Ed. Le Républicain, Bamako, m.acme-eau.org, (21 Avril 2006)
- [3] - ALHASSANE DIAMI DIALLO, essai d'épuration d'eaux usées par double filtration sur charbon actif en poudre préparé à partir des coques d'arachides, *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 40 (2022) 101 - 110, ISSN 1813 - 3290, <http://www.revist.ci>
- [4] - S. FISCHER et B. KABIR, E. LAHIF et M. MACLACHLAN, "knowledge, attitudes, practices and implications of safe water management and good hygiene in rural Bangladesh" *journal of water and health*, Vol. 9, N° 1 (2011) 80 - 93 p., <http://WWW.iwaponline.com/jwh0090080.htm>
- [5] - C. DEJOUX, la pollution des eaux continentales africaines ; expériences acquises, situation actuelle et perspectives. Edition de l'ORSTOM, Collection TRAVAUX et DOCUMENTS, Paris, N°213 (1988) 513 p.
- [6] - OUSMANE KASSAMBARA, "Evaluation de la performance de la station d'épuration de Sotuba et les impacts de son dysfonctionnement sur le fleuve Niger à Bamako (MALI)", Université SENEGAL, (2017) 80 p.
- [7] - Y. A. IDRISSE, A. ALEMAD, A. SAAD, D. HAJAR, H. ELKHARRIM et D. BELGHYTI, "Caractérisation physico-chimique des eaux usées de la ville d'Azilal—Maroc". *International Journal of Innovation and Applied Studies*, Vol. 11, N° 3 (Jun. 2015) 556 - 566 p., ISSN 1997 - 342X (Online), ISSN 1991 - 8631 (Print), <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
- [8] - C. DEFO, T. FONKOU, P. MABOU, P. NANA, Y. MANJELI, Collecte et évacuation des boues de vidange dans la ville de Bafoussam, Cameroun (Afrique centrale) [VertigO], *La Revue Electronique en Sciences de l'Environnement*, 15 (1) (2015)
- [9] - Y. COULIBALY, « La gestion de l'environnement urbain à Bamako », Thèse de doctorat unique, Population Environnement, ISFRA, Bamako, (1999) 330 p.
- [10] - A. SCHILING MICHELE, « L'Herbe, le Poisson et le Riz, transformation des paysages et dynamiques paysannes dans le Kotiya, (Delta Central du Niger) », thèse de doctorat, UFR de Géographie, Université de Paris I, (1999) 555 p.
- [11] - B. THIBAUD, « Le bois au Sahel : un enjeu environnemental majeur dans la zone Office du Niger au Mali », in Regards sur l'Afrique, UGI, CNFG, Historiens & Géographes, ed. IRD, N°379 (2002) 309 - 323 p.
- [12] - DEME, Traitement de boues de vidange de système d'assainissement autonome à Dakar : évaluation de l'efficacité de la séparation solide/ liquide dans deux bassins expérimentaux de sédimentation/ épaissement, (2008)
- [13] - O. S. SOW, Evaluation économique-financière comparée du système d'assainissement collectif et du système de gestion des boues de vidange, (2008)
- [14] - J. GALLAIS, « Le Delta Intérieur du Niger. Etude de géographie régionale ». Thèse de géographie, mémoire de l'IFAN-Dakar, Tomes I et II, N°78 (1967) 623 p.

- [15] - BABA COULIBALY, "QUELLE GESTION INTEGREE DU FLEUVE NIGER AU MALI? Normes, usages, régulations, territorialités locales dans les Communes riveraines des Cercles de Ségou et de Mopti", Thèse unique, Université d'Aix- Marseille, Paris, (2013) 369 p.
- [16] - M. AMZET, « Un ordre international pour l'eau », in les usages de l'eau, Echelles et modèles en Méditerranée, Economies et Sociétés, « hors-série », cahiers de l'ISMEA, N°2 (2000) 125 - 174 p.
- [17] - F. EDELINE, Le pouvoir autoépurateur des rivières. Une introduction critique. 4e édition entièrement revue et complétée, 5e tirage. Edition CEBEDOC, (2001) 240 p.
- [18] - Y. RACAULT, Le lagunage naturel. Les leçons tirées de 15 ans de pratique en France. Technique et Documentation LAVOISIER. Coédition (Cemagref Editions et Agence de l'Eau Loire-Bretagne), (1997) 64 p.
- [19] - ESTHER LAURENTINE NYA, "Accès à l'eau potable et à l'assainissement dans le département du NDE", Thèse unique, UNITE DE RECHERCHE ET DE FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES HUMAINES ET SOCIALES, Yaoundé, (2020) 485 p.
- [20] - KEVIN TAYLER, Le Traitement des boues de vidange, Un guide pour les pays à revenus faibles et intermédiaires, Rugby, Royaume-Uni, Practical Action Publishing, <http://dx.doi.org/10.3362/9781788530828>, (2020)
- [21] - F. RAMADE, Introduction à l'écotoxicologie. Fondements et applications. Editions Tec & Doc Lavoisier, (2007) 648 p.
- [22] - P. PESSON, La pollution des eaux continentales. Incidence sur les biocénoses aquatiques, (1980)
- [23] - J-L. LAURENT, L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolutions. Document réalisé par les Agences de l'Eau et le Ministère de l'Environnement. Secrétariat de rédaction (Agence de l'Eau Artois-Picardie), (1994) 165 p.
- [24] - C. GUILLEMIN et J-C. ROUX, Pollution des eaux souterraine en France. Bilan des connaissances, impacts et moyens de prévention, Collection Manuels et Méthodes, Edition BRGM, (N°23) (1992) 262 p.
- [25] - C. CARDOT, Les traitements de l'eau, Procédés physico-chimiques et biologiques, Cours et problèmes résolus. Génie de l'environnement. Edition ellipses marketing, (1999) 256 p.
- [26] - L. MIMECHE, "Etude de faisabilité de l'installation de station d'épuration des rejets urbains par les filtres plantés en milieu aride, Application à la région de Biskra", Thèse de Doctorat en Science Hydraulique de l'Université Mohamed Khider de Biskra, Alger, (2014) 164 p.
- [27] - A. GAÏD, Traitement des eaux usées urbaines. Direction Technique et Ingénierie Omnium de Traitement et de Valorisation (OTV). Doc. C 5 220, (1993) 30 p.
- [28] - J. HENKEL, Oxygen Transfer Phenomena in Activated Sludge [online], PhD thesis, Department of Civil Engineering and Geodesy, Darmstadt Technical University, Germany <http://tuprints.ulb.tudarmstadt.de/3008/1/Henkel2010Oxygen_Transfer_Phenomena_in_Activated_Sludge.pdf> [Consulté le 3 mars 2018], (2010)
- [29] - T. DE MES, A. STAMS, J. REITH et G. ZEEMAN, 'Methane Production by Anaerobic Digestion of Wastewater and Solid Wastes', in J. Reith, R. Wijffels et H. Barten (eds), Status and Perspectives of Biological Methane and Hydrogen Production, The Hague : Dutch Biological Hydrogen Foundation, (2003) 58 - 94 p.
- [30] - METCALF et EDDY, Wastewater Engineering Treatment and Reuse, 4th edition, New York : McGraw Hill, (2003)
- [31] - M. KONE, L. BONOU, J. KOULIDIATI, P. JOLY, S. SODRE, Y. BOUVET, Traitement d'eaux usées urbaines par infiltration percolation sur sable et sur substrat de coco après un bassin anaérobie de lagunage sous climat tropical. *Revue des Sciences de l'Eau*, 25 (2) (2012) 139 - 151
- [32] - T. HOFFMAN, 'Innovative Faecal Sludge (FS) Treatment: Appropriate Decentralised Treatment System Design', presentation from FSM3, 3rd International Faecal Sludge Conference, Hanoi, Vietnam, (2015)
- [33] - DEGREMONT, Memento Technique de l'eau (Dixième édition, Tome 1), (2005) 785 p.

- [34] - MARTINE KONE, Caractérisation des boues de vidange dépotées sur les lits de séchage de zagtoui (Ouagadougou), *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10 (6) (December 2016) 2781 - 2795
- [35] - F. KLINGEL, A. MONTANGERO, D. KONE, M. STRAUSS, Gestion des boues de vidange dans les pays en développement. Manuel de planification. Première édition. Eawag/Sandec, (2002)
- [36] - E. TILLEY, C. LÜTHI, A. MOREL, C. ZURBRÜGG et R. SCHERTENLEIB, Compendium des Systèmes et Technologies d'Assainissement, (2008) 150 p.
- [37] - TADJOUWA KOUAWA, "Traitements des boues de vidange par lits de séchages sous climat soudano-sahélien", Thèse de doctorat en Hydraulique Urbaine et Eau, Faculté des Sciences, Université de Strasbourg, (2016) 231 p.
- [38] - N. I. M. KENGNE, Potentials of sludge drying beds vegetated with *Cyperus papyrus* L. and *Echinochloapyramidalis* (Lam.) Hitchc. & Chase for faecal sludge treatment in tropical regions. PhD thesis, University of Yaounde I, Faculty of Science, Yaounde, (2006) 99 p.
- [39] - I. MAHAMANE, "CONTRIBUTION à la gestion durable des boues de vidange de la ville de Ouagadougou : Caractérisation des boues et évaluation du dimensionnement des STBV de Kossodo et Zagtoui", Mémoire de Master spécialisé 2iE, Ouagadougou, 68 p.
- [40] - J-M. CHOUBERT, "ANALYSE et optimisation du traitement de l'azote par les boues activées à basse température", Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur — Strasbourg I, Discipline : Sciences Pour l'Ingénieur (spécialité Génie des Procédés), Stasbourg, (2002) 266 p.
- [41] - W. FEIGE, E. OPPELT et J. KREISS, An Alternative Septage Treatment Method: Lime Stabilization/Sand-Bed Dewatering [online], Cincinnati, OH: Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency <<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/9100SNQA.PDF?Dockey=9100SNQA.PDF>> [Consulté le 8 mars 2018], (1975)
- [42] - B. N. NJORGE, K. MWAMACHI, G. M. SLADE, Ammonia removal from an aqueous solution by use of a natural zeolite. *J. Environ. Eng. Sci.*, 3 (2004) 147 - 154
- [43] - MAATOUK ELIAS, "Caractérisation des eaux usées au Liban : impact sur le fonctionnement des stations d'épuration", Thèse de doctorat en science de l'eau et de l'environnement, faculté des Sciences et Technologie, Université libanaise, (2014) 241 p.
- [44] - J-M. BERLAND, C. BOUTIN, P. MOLLE et P. COOPER, Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités. Rapport pour Commission Européenne. Edition : Office des Publications des Communautés Européennes, L-2985 Luxembourg, (2001) 41 p.
- [45] - YA. GNAGNE, BO. YAPO, L. MEITE, VK. KOUAME, AA. GADJI, V. MAMBO, P. HOUENOUL, Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes du réseau d'égout de la ville d'Abidjan. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9 (2) (2015) 1082 - 1093