UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

# Caractérisation des boues de vidange produites en ville de Bujumbura

**Barandaganiye, Augustin**

**2021-05**
UB
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/196

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

**UNIVERSITÉ DU BURUNDI**
**FACULTE DES SCIENCES**

# CARACTERISATION DES BOUES DE VIDANGE PRODUITES EN VILLE DE BUJUMBURA

**Par**

**BARANDAGANIYE Augustin**

**MÉMOIRE**

Présenté et défendu en vue d'obtenir :
Diplôme de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement
**OPTION** : Eau et Assainissement

**Identification des membres du jury**

Président : Pr. NAHIMANA David

Secrétaire : Dr. BUHUNGU Simon

Directeur : Dr. BIGUMANDONDERA Patrice

**Bujumbura, Mai, 2021**

**IDENTIFICATION DES MEMBRES DU JURY**

Président : Pr. NAHIMANA David

Secrétaire : Dr. BUHUNGU Simon

Directeur : Dr. BIGUMANDONDERA Patrice

**DEDICACES**

A

Mes chers parents

Mes chers frères et Sœurs

Toute ma famille

Tous mes amis sans exception

Tous ceux qui me sont chers

Je dédie ce mémoire

**REMERCIEMENTS**

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce Dieu et au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Tout d'abord, louange à DIEU qui m'a guidé sur le droit chemin tout au long de ce travail et m'a inspiré les bons pas et les justes réflexes. Sans sa miséricorde, ce travail n'aurait jamais pu aboutir.

Je voudrais adresser toute ma reconnaissance au Directeur de ce mémoire, Dr Patrice BIGUMANDONDERA, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

L'enseignement de qualité dispensé par l'Université du Burundi a également su nourrir mes réflexions et a représenté une profonde satisfaction intellectuelle, merci donc aux Enseignants-Chercheurs de cette Université.

Je tiens à remercier le personnel du Laboratoire Chimique et d'Analyse Environnemental pour leur contribution dans l'analyse des paramètres physicochimique.

Je remercie également le personnel de l'OBUHA, responsable de la station d'épuration de Buterere, pour nous avoir donné le stage et l'occasion de réaliser notre travail de terrain.

Un grand merci également aux chauffeurs des camions vidangeur privés pour avoir accepté de faire le routage ensemble lors des opérations de la vidange des boues dans les domiciles des particuliers.

Je remercie mes très chers parents, Emmanuel BIGIRIMANA et Thérèse KUBWIMANA, qui ont toujours été là pour moi. Je remercie mes sœurs, Marie Claire, Julienne, Agnès, Safi et frères Thierry, Fiston, pour leurs encouragements.

Enfin, je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis, collègues et toute personne qui m'ont apporté leur soutien moral, intellectuel et financier tout au long de ma démarche.

**RESUME**

Dans les pays en développement (PED) en général et au Burundi en particulier, la problématique de l'assainissement (eaux usées et des déchets solides) constitue un enjeu majeur pour les spécialistes et les autorités locales.

Ce travail avait comme objectif de caractériser les boues de vidange produites en ville de Bujumbura pour la protection environnementale. Pour atteindre cet objectif, une méthode sociologique mobilisant des techniques d'entretien et d'observation sur site a été utilisée. Cette méthode a permis de comprendre les pratiques d'assainissement non collectif sur terrain dans le contexte de la ville de Bujumbura. Puis ont suivi la quantification et les analyses de laboratoire des boues provenant de l'assainissement non collectif.

La quantification est faite de deux manières différentes : celle basée sur la collecte des boues consistant à comptabiliser le nombre de déversement quotidien sur le site de dépotage. Elle est suivie de celle basée sur la production de boues qui s'appuie sur les données statistiques obtenues par enquêtes. Les deux méthodes donnent des résultats différents, les volumes mensuels moyens sont de 2405$m^3$ des boues collectées et qui arrivent au site de dépotage et 8861$m^3$ de celles attendues.

Concernant la caractérisation physicochimique, étape également indispensable pour une bonne gestion des boues, une analyse a été effectuée au laboratoire sur des échantillons des boues brutes et filtrées de 10 fosses septiques où les flux polluant en DCO, $DBO_5$, MES, MVS, N-$HN_4^+$, $NO_2^-$, $NO_3^-$ et $PO_4^{3-}$ déterminés montrent respectivement des valeurs moyennes de1817±513,5Kg/j ; 602±171,2Kg/j ;1422±498Kg/j ; 956±1,6 Kg/j; 159±39,5Kg/j ; 4±1,6Kg/j ; 7,27±2,4 Kg/j et 8±2,4Kg/j **s**ur des échantillons non filtrés et 406,45±164 Kg/j de DCO**,** 140±47 kg/j de $DBO_5$**,** sur des échantillons filtrés. Les résultats trouvés montrent que les boues sont biochimiquement instables et nécessitent un traitement préalable avant leur rejet dans la nature.

**Mots clés** : Boues de vidange, Quantification, Caractérisation, Ville de Bujumbura

**ABSTRACT**

In developing countries in general and in Burundi in particular, the issue of sanitation (wastewater and solid waste) is a major challenge for specialists and local authorities.

The objective of this work was to characterize the sludge produced in the city of Bujumbura for environmental protection. To achieve this objective, a sociological method mobilizing interview and observation techniques on -site was used. This method made it possible to understand non-collective sanitation practices in the field in the context of the city of Bujumbura. This was followed by the quantification and laboratory analysis of the sludge from on-site sanitation.

The quantification is done in two different ways: the one based on the collection of sludge consisting in counting the number of daily discharges on the dumping site. It is followed by the one based on sludge production which is based on statistical data obtained by surveys. The two methods give different results, the average monthly volumes are 2405$m^3$ of sludge collected and arriving at the disposal site and 8861$m^3$ of that expected.

Concerning the physicochemical characterization, also an essential step for a good sludge management, an analysis was carried out in the laboratory on samples of raw and filtered sludge from 10 septic tanks where the pollutant flows in COD, BOD5, SS, SVD, $N\text{-}HN_4^+$, $NO_2^-$, $NO_3^-$ and $PO_4^{3-}$ determined show respectively average values of 1817±513,5Kg/d ; 602±171.2Kg/d; 1422±498Kg/d; 956±1.6 Kg/d; 159±39.5Kg/d; 4±1.6Kg/d; 7.27±2.4 Kg/d and 8±2.4Kg/d on unfiltered samples and 406.45±164 Kg/d of COD, 140±47 kg/d of BOD5, on filtered samples. The results found show that the sludge is biochemically unstable and requires prior treatment before discharge into nature.

**Key words**: Sludge, Quantification, Characterization, City of Bujumbura

**TABLE DES MATIERES**

MEMBRES DU JURY ..... i
DEDICACES…. ..... ii
REMERCIEMENTS ..... iii
RESUME…… ..... iv
ABSTRACT…. ..... ……..v
TABLE DES MATIERES ..... vi
LISTE DES TABLEAUX……viii
LISTE DES FIGURES ..... ix
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS ..... xi
AVANT-PROPOS ..... xii
INTRODUCTION GENERALE ..... 1
CHAPITRE I : PRATIQUES EN MATIERE D'ASSAINISSEMENT URBAIN ..... 4
I.1. Définitions de quelques termes ..... 4
I.2. Gestion de boues de vidange en Afrique subsaharienne ..... 5
I.2.1. Typologie des boues de vidange ..... 6
I.2.2. Collecte, transport et dépotage ..... 6
I.2.3. Traitement des boues de vidange ..... 9
I.2.4. Quantification des boues de vidange ..... 11
I.2.4.1. Méthodes basées sur la production de boues ..... 11
I.2.4.1.1. Méthode 1 : « Productions spécifiques » ..... 11
1.2.4.1.2. Méthode 2 : « Demande en vidange mécanique » ..... 12
I.2.4.1.3. Méthode 3 : « Caractéristiques des ouvrages d'assainissement » ..... 13
I.2.4.1.4. Méthode 4 : « Chiffre d'affaires de l'opérateur de vidange » ..... 13
I.2.4.2. Méthode basée sur la collecte de boues. ..... 14
I.3. Caractéristiques des boues de vidange ..... 14
I.4. Situation générale de la gestion des boues de vidange en ville de Bujumbura ..... 16
I.4.1. Introduction ..... 16
I.4.2. Les acteurs du domaine de la vidange mécanique des boues à Bujumbura ..... 18
I.4.2.1. Les ménages ..... 19
I.4.2.2. Les entreprises de vidange ..... 19
I.4.2.3. Les pouvoirs publics ..... 19
CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES ..... 20
II.1. Description du milieu d'étude : Ville de Bujumbura. ..... 20
II.1.1. Situation géographique, administrative et démographique de la ville de Bujumbura ..... 20
II.1.1.1. Situation géographique. ..... 20
II.1.1.2. Situation administrative de la ville de Bujumbura ..... 20
II.1.1.3. Situation démographique ..... 21
II.2. Approche méthodologique ..... 22
II.2.1. Revue documentaire ..... 22
II.2.2. Routages des camions vidangeurs ..... 22
II.2.3. Quantification des boues ..... 23

II.2.3.1. Méthode basée sur la production de boues ..... 23
II.2.3.2. Méthode basée sur la collecte de boues ..... 24
II.2.4. Caractéristiques des boues dépotées à la station de Buterere ..... 24
II.2.4.1. Échantillonnage des boues au niveau du camion vidangeur ..... 24
II.2.4. 2. Méthodes d'analyse des échantillons au laboratoire ..... 26
II.2.4.2.1. Le pH et la conductivité ..... 26
II.2.4.2.2. Matières en suspension (MES) ..... 26
II.2.4.2.3. Demande chimique en oxygène ..... 27
II.2.4.2.4. Demande biochimique en oxygène ($DBO_5$) ..... 28
II.2.4.2.5. Détermination de l'azote ammoniacal ($N\text{-}NH_4$) (Rodier, 2009)……..…29
II.2.4.2.6. Détermination des nitrates ..... 30
II.2.4.2.7. Détermination des phosphates (Rodier, 2009)…….30
CHAPITRE III : PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION ..... 31
III.1. Les enjeux de la gestion des boues de vidange ..... 31
III.1.1. Enjeux organisationnels et financiers ..... 31
III.1.2. Enjeux techniques ..... 33
III.1.3. Enjeux sanitaires et environnementaux ..... 37
III.2. Provenance des boues de vidange dépotées à la station de Buterere ..... 38
III.3. Quantification des boues produites en ville de Bujumbura ..... 38
III.3.1. Quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere ..... 39
III.3.2. Quantité de boues de vidange attendues en ville de Bujumbura ..... 51
III.4 Caractéristiques physico - chimique des boues de vidange ..... 58
III.4. 1 Ratios entre différents paramètres ..... 62
III.4.2 Le flux polluant des boues des fosses dépotées à la station de Buterere ..... 63
III.5. Proposition de solutions d'amélioration de la GBV ..... 65
III.5.1. Proposition de la structure organisationnelle de la gestion des BV dans la ville de Bujumbura ..... 65
III.5.2. Planification avec les parties prenantes. ..... 67
CONCLUSION GENERALE ..... 68
PERSPECTIVES ..... 70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ..... 71
WEBOGRAPHIE ..... 75
ANNEXES : GUIDE DES TRAVAUX DE TERRAINS ET DE LABORATOIRE ..... 76

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1.1 : Valeur en nutriments des excréta ..... 11
Tableau 1.2 : Les paramètres caractéristiques des boues de vidange **Erreur ! Signet non défini.**
Tableau 1.3 : Pourcentage de la population par type d'assainissement dans la ville de Bujumbura ..... 18
Tableau 1.4 : Proportions des utilisateurs des LT Vs FS ..... 18
Tableau 3.1: Résultats relatifs au routage de Camion ..... 36
Tableau3.2 : Capacité des camions vidangeurs œuvrant en ville de Bujumbura ….....38
Tableau 3.3 : Quantité des boues dépotées à la STEP de Buterere en 2018..... 39
Tableau 3.4 : Quantité des boues dépotées à la STEP de Buterere en 2019..... 41
Tableau 3.5 : Quantités de boues dépotées à la STEP de Buterere entre janvier-mars 2020 ... 43
Tableau 3.6 : La quantité des boues attendues dans les zones de la ville de Bujumbura en 2018 ..... 52
Tableau 3.7 : La quantité des boues attendues dans les zones de la ville de Bujumbura en 2019 ..... 53
Tableau 3.8: La quantité des boues attendues dans les zones de la ville de Bujumbura en 2020 ..... 54
Tableau 3.9 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques de boues vidangées en ville de Bujumbura ..... 58
Tableau 3.10 : Ratios entre les différents paramètres ..... 62
Tableau 3.11 : Synthèse des quantités moyennes des BV dépotées par jour pour 2018 et 2019 ..... 63
Tableau 3.12 : Concentration moyennes des différents paramètres convertis en Kg/Kl ..... 63
Tableau 3.13 : Flux polluants des boues dépotées à la station de Buterere……..…64

## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Véhicules de vidange mécanique (a) Vacuum tank (b) Maraval (c) Dung Beetle et (d) vacuum ..... 8
Figure 1.2 : Vidange semi-mécanique : (a) et (b) Sugden, 2005 ; (c) Photo MAPPET ..... 8
Figure 1.3 : Vidange manuelle d'une fosse à Dar es Salam : (a) homme se trouvant dans la fosse (b) à l'extérieur de la fosse un autre déverse les boues dans la cour de la parcelle..... 9
Figure 1.4: Options potentielles de traitement/valorisation des boues de vidanges..... 10
Figure 1.5 : Cycle d'utilisation d'eau dans la ville de Bujumbura..... 17
Figure 2.1 : Carte Administrative de la ville de Bujumbura ..... 21
Figure 2.2 : Evolution de la population de la ville de Bujumbura de 2018-2019 et 2020 22
Figure 2.3 : Circuit de routage des camions vidangeurs ..... 23
Figure 2.4: Échantillonnage sur le Camion…….. 25
Figure 2.5:Transvasement del'échantillon dans les bouteilles en plastique……..... 25
Figure 2.6 : Conservation des échantillons dans la glacière…….....25
Figure 2.7 : a) Pompe à vide pour la filtration b) Boues filtrées..... 27
Figure 2.8 : a) Minéralisateur b) Photomètre palintest..... 28
Figure 2.9 : Dispositif expérimental de mesure de la $DBO_5$ ..... 29
Figure 3.1 : Organisation actuelle de la GBV dans la ville de Bujumbura ..... 32
Figure 3.2 : (a) Difficulté de vidange d'une fosse placée derrière la parcelle en zone Cibitoke, (b) et (c) trou fait dans un mur de la clôture pour faciliter l'opération de vidange en Zone Kinama ..... 34
Figure 3.3 : (a) et (b) Fosse de stockage/ prétraitement mal entretenu en zone Buyenzi..... 34
Figure 3.4 : (a) Voie de circulation en pente et accidenté par des roches au quartier Kiriri-Vugizo (b) Voie de circulation étroite et en zigzag au quartier dit "Ceceni" en zone Kanyosha..... 35
Figure 3.5 : a) Boues déversées dans un canal non entretenu à Carama b) collecteur d'eaux pluviales et des boues de vidange pendant la saison pluviale à Kanyosha..... 37
Figure 3.6 : Quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere en 2018..... 40
Figure 3.7 : Quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere en 2019..... 42
Figure 3.8. : Quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere en 2020..... 44
Figure 3.9 : Comparaison des quantités de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere en 2018 et 2019..... 47

Figure 3.10 : Boues vidangées en Zone Kinama : proportion entre le quartier Carama et le reste de la Zone Kinama en 2018 ..... 48
Figure 3.11 : Boues vidangées en Zone Kinama : proportion entre le quartier Carama etlereste de la Zone Kinama en 2019 ..... 48
Figure 3.12 : Boues vidangées en Zone Kinama : proportion entre le quartier Carama et le reste de la zone entre janvier-mars 2020 ..... 49
Figure 3.13 : Boues vidangées en Zone Ngagara : proportion entre le quartier Industriel et le reste de la Zone Ngagara en 2018..... 50
Figure 3.14 : Boues vidangées en Zone Ngagara : proportion entre le quartier Industriel et le reste de la Zone Ngagara en 2019..... 50
Figure 3.15 : Boues vidangées en Zone Ngagara : proportion entre le quartier Industriel et le reste de la zone entre janvier-mars 2020 ..... 51
Figure 3.16 : Quantité de boues attendues dans la ville de Bujumbura dans les années de 2018, 2019 et 2020 ..... 55
Figure 3.17 : Quantité de boues dépotées à la STEP de Buterere et celle attendue en ville de Bujumbura. ..... 56
Figure 3.18 : Proportion des boues de vidange dépotées à la station d'épuration de Buterere et celle attendue dans la ville de Bujumbura en 2018. ..... 56
Figure 3.19 : Proportion des boues de vidange dépotées à la station d'épuration de Buterere et celle attendue dans la ville de Bujumbura en 2019. ..... 57
Figure 3.20: Comparaison de quelques paramètres pour différentes villes. ..... 61
Figure. 3.21 : Proposition de la structure organisationnelle de la gestion des BV dans la ville de Bujumbura..... 66

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

ANC : Assainissement Non Collectif

BV : Boues de vidange

CNRC : Conseil National de Recherche du Canada

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

Eawag/Sandec: Institut fédéral suisse pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux, Département eaux et assainissement dans les pays en développement

FOMI : Fertilisant Organo- Minéraux

FS : Fosse septique

ISTEEBU : Institut des Statistiques et d'Etudes Economiques du Burundi

LCAE : Laboratoire Chimique d'Analyse Environnemental

LT : Latrine Traditionnelle

MAPET : Manual Pit Emptying Technology

MEEATU : Ministère de l'Eau, de l'Environnement, de l'Aménagement du Territoire et de l'Urbanisme

OBUHA : Office Burundais de l'Habitat l'Aménagement et la Construction

OMD : Objectifs du millénaire pour le développement

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

PDAEUEB : Plan Directeur d'Assainissement des Eaux Usées et des Excrétas de Bujumbura

PED : Pays en Développement

SETEMU : Services Techniques Municipaux

STEP : Station d'épuration

VIP : Ventilated Improved Pit

$DBO_5$ : Demande biochimique en oxygène après 5 jours

$DBO_{5f}$ : $DBO_5$ filtrée

$DBO_{5nf}$ : $DBO_5$ non- filtrée

DCO : Demande chimique en oxygène

$DCO_f$ : DCO filtrée

$DCO_{n\,f}$ : DCO non-filtrée

MES : Matières en suspension

$N\text{-}NH_4$ : Azote ammoniacal

$N\text{-}NO_3$ : Azote nitrique

## AVANT-PROPOS

Ce mémoire rentre dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement (MSGIE), option Eaux et Assainissement. Il traite les problèmes liés à la Gestion des boues de vidange issus des fosses septiques et des latrines traditionnelles en ville de Bujumbura.

L'idée de ce mémoire est venue du constat que la quantité d'eaux usées arrivant à la station d'épuration de Buterere est plus ou moins connue par le nombre de ménages et industries raccordés alors que ce n'est pas le cas pour les boues de vidange qui y arrivent. Les raisons en sont que d'une part le métier de la vidange n'est pas réglementé jusqu'à l'heure. En effet, la gestion des boues de vidange constitue un grand problème dans bon nombre de villes du Burundi et en ville Bujumbura en particulier.

Cette étude se veut être une contribution à l'amélioration de la qualité environnementale en réduisant les risques associés à la gestion des boues de vidanges devant permettre les ménages et autres parties prenantes du domaine d'assainissement à mettre en place un système de gestion efficace répondant aux exigences environnementales et sanitaires.

## INTRODUCTION GENERALE

Face à l'accroissement démographique, industriel et urbanistique que connaît les pays en développement et émergents, la problématique de déchets tant solides que liquides se pose avec une forte acuité. Comparativement au reste du monde, en Afrique Sub-saharienne, les problèmes de gestion des eaux usées et excréta constituent un enjeu majeur sur le plan économique, environnemental et sanitaire (Coulibaly *et al,* 2004 ; Koné, 2011 ; Gagner *et al.*, 2015 cité par Martine Koné, 2016).

Pour bien gérer les eaux usées et excréta deux systèmes d'assainissement sont utilisés. L'assainissement collectif qui collecte les eaux usées d'une localité donnée via les réseaux d'égoût afin de les traiter dans un système centralisé appelé station d'épuration. L'assainissement non collectif sous ses différentes formes qui traite les eaux usées au lieu même de leur production (Niyongabo, 2006 ; Bigumandondera *et al*, 2014).

Dans les pays en développement, pour répondre aux besoins d'approvisionnement en ouvrages d'assainissement, le choix se porte préférentiellement sur les systèmes d'ANC. Les raisons qui sont derrières ce choix sont notamment les coûts d'installation et de maintenance plus abordables comparativement au réseau d'égouttage qui reste exigeant en termes de coût et de compétences requises pour leur mise en œuvre. Toutefois, ces systèmes d'ANC produisent des quantités de boues de vidange qui, si des mesures de leur bonne gestion ne sont pas prises en compte, risquent de porter atteintes à l'environnement et à la santé publique (Montangero & Strauss, 2002).

En effet, au fur et à mesure de leur utilisation, les ouvrages d'ANC se remplissent de boues et leur vidange devrait être réalisé afin de pérenniser leur usage et protéger du coup la santé des utilisateurs. La collecte des boues dans ces ouvrages d'ANC se fait selon trois méthodes. La vidange mécanique qui utilise des camions hydro cureurs ou d'autres engins mécanisés. La vidange semi-mécanique où une force manuelle est appliquée avec un mécanisme qui enlève les boues. La vidange manuelle qui utilise des outils comme la pelle et le seau (Koanda, 2006 ; Bigumandondera, 2014). En fonction des technologies mises en œuvre pour la vidange de ces boues, des moyens de transport sont aussi utilisés passant du transport sécurisé par des engins motorisés vers un site de dépotage agréé pour la vidange mécanique au simple déversement tout près du lieu de vidange pour la vidange manuelle et quelques fois pour la vidange semi-mécanique si des dispositifs supplémentaires notamment l'installation d'un site de transfert des boues n'ont pas être prévus (Still&Foxon, 2012).

Dans le cas d'une bonne gestion des boues de vidange, un site de dépotage destiné à recevoir ces boues provenant des installations d'ANC est à prévoir. Une bonne gestion de ce site exige la connaissance des matières qui y entrent quantitativement et qualitativement afin de mieux asseoir les techniques de dimensionnement et les procédés de traitement à appliquer.

Bujumbura, capitale économique du Burundi, à l'instar des autres villes des pays en développement, fait recours principalement à l'ANC à raison de 89,1 % comme mode de traitement des eaux usées générées dans différents ménages (Ministère de l'Énergie et des Mines, 2011). Le site de dépotage des boues issues des ouvrages d'ANC est la station d'épuration de type lagune, appelée station d'épuration de Buterere. Elle reçoit également les eaux usées domestiques et industrielles connectées au réseau d'égoût dont dispose la ville de Bujumbura (Bigumandondera, 2014). Si la quantité d'eaux usées arrivant à cette station est plus ou moins connue par le nombre de ménages et industries raccordés, ce n'est pas le cas pour les boues de vidange qui y arrivent. Les raisons en sont que d'une part le métier de la vidange n'est pas réglementé jusqu'à l'heure. Seuls les ménages et les vidangeurs signent les contrats de vidange qui restent par ailleurs non formels. D'autre part, la quantité à vidanger pour un ouvrage donné dépend de la capacité de payement pour le ménage et non du volume de la fosse. Signalons aussi le fait que la ville de Bujumbura s'agrandit au jour le jour occasionne des variations des quantités dépotées pour une période donnée.

Il convient enfin de signaler que qualitativement, il se remarque une grande variabilité des caractéristiques des boues de vidange due notamment à la période entre deux vidanges, la nature de l'ouvrage d'ANC (fosse septique, latrine traditionnelle, bloc sanitaire partagé,) sans oublier la manière dont l'ouvrage est vidangé.

De ce qui précède, il devient donc important de s'intéresser à ces matières appelées boues de vidange par la réalisation d'un travail de recherche portant sur **la Caractérisation des boues de vidange produites en ville de Bujumbura.**

L'objectif global de cette étude est de caractériser les boues de vidange produites en ville de Bujumbura.

Cet objectif se décline en trois objectifs spécifiques : i) Faire l'état des lieux de la gestion des boues de vidange dans la ville de Bujumbura ; ii) Évaluer quantitativement et qualitativement les boues qui sont produites et vidangées dans la ville de Bujumbura ; iii) Proposer des solutions d'amélioration du système de gestion des boues de vidange en vigueur dans la ville de Bujumbura.

Le présent travail se base sur les hypothèses suivantes :

- ✓ Une bonne gestion des boues de vidange nécessite de prendre en considération tout le secteur d'ANC (stockage des boues dans les domiciles de particuliers, vidange, transport et site de dépotage) ;
- ✓ La quantité de boues de vidange collectées dans la ville de Bujumbura est inférieure à la quantité produite ;
- ✓ La quantité des boues qui arrive au site de dépotage dépend d'un certain nombre de facteurs dont notamment l'éloignement du ménage par rapport au site de dépotage, le type d'ouvrages installés dans les ménages, prix à payer pour une vidange mécanique.

Le présent mémoire est subdivisé en trois chapitres. Le premier chapitre consiste à faire une revue de littérature. Le second présente l'approche méthodologique adoptée afin d'atteindre les objectifs fixés par cette recherche. Le troisième présente les résultats et leur discussion. Ces chapitres sont encadrés par une introduction générale et une conclusion générale.

# CHAPITRE I : PRATIQUES EN MATIERE D'ASSAINISSEMENT URBAIN

Ce chapitre a comme objet principal de faire une synthèse bibliographique sur les pratiques en matière d'assainissement urbain, notamment celles liées à la gestion des boues de vidange en Afrique Subsaharienne. Successivement, il s'agira de définir quelques termes qui seront fréquemment évoqués dans ce mémoire, faire l'état des lieux de la gestion des BV en Afrique Sub-saharienne, donner l'esquisse des méthodes utilisées dans la quantification des BV ainsi que les caractéristiques de ces dernières et terminer par l'état des lieux de la gestion des BV en ville de Bujumbura.

## I.1. Définitions de quelques termes

Ci-dessous sont définis quelques termes clés qui seront fréquemment évoqués dans ce mémoire :

- **Assainissement** : ensemble de stratégies utilisées par des habitants, responsables officiels ou non, pour pallier aux problèmes posés par les déchets liquides (eaux usées, eaux pluviales et excrétas) et les déchets solides (domestiques, hospitaliers, agricoles et industriels) (Mindele ukondalemba, 2016).
- **Eaux usées domestiques** : ensemble constitué par les eaux vannes et les eaux usées ménagères. Les eaux vannes (eaux noires) sont constituées d'excréta (urines et excréments), d'eau de chasse (dans des systèmes humides) et de l'eau de nettoyage anal ou matériaux de nettoyage (papier de toilettes ou autres) tandis que les eaux usées ménagères (eaux grises) sont constituées par les eaux de cuisine, de vaisselle, de lessive et de douche (Bigumandondera, 2014).
- **Système d'assainissement autonome** (assainissement individuel ou assainissement non collectif) : système d'assainissement qui se présente comme une alternative à l'assainissement collectif. Appelé dorénavant en France ANC (Assainissement Non Collectif), il est compris comme l'ensemble des dispositifs à mettre en œuvre pour le traitement et l'élimination des eaux usées domestiques sur le lieu même de leur production. Par opposition de l'assainissement collectif, il est caractérisé par son autonomie aussi bien dans le fonctionnement de la technique (épuration des eaux) mais aussi souvent sa conception, son financement, sa mise en œuvre et son entretien (Chocat, 1997).
- **Ouvrage d'ANC** : l'ouvrage d'ANC désigne tout ouvrage installé au niveau du ménage destiné à recevoir, stocker et traiter partiellement les excrétas et / ou les eaux usées domestiques. (Mindele ukondalemba, 2016).

- **Boues de vidanges (BV)** : mélange de matières fécales et d'urine de consistance variable collectées dans le système d'assainissement non raccordé au réseau d'égout (latrine, toilettes publique, fosse septique) (Montangero & Strauss, 2002.)
- **Station de transfert des boues** : Ensemble d'installations et de moyens qui permettent de transférer les boues d'un point à un autre.
- **Site de dépotage :** site ayant pour vocation l'accueil des sous- produits de l'assainissement. Il s'agit généralement d'un espace aménagé sur le site de la station d'épuration, associé à des ouvrages de réception et de prétraitement des produits, avant que ceux-ci ne rejoignent la filière eau (ou boue) de la station. Il se situe généralement sur la station d'épuration afin de traiter les sous- produits spécifiquement eau en les injectant dans les filières eau et/ ou boues. (Http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/depotage/GUIDE-depot-v9-2007.pdf)

## I.2. Gestion de boues de vidange en Afrique subsaharienne

Pour une meilleure compréhension de la filière gestion de boues de vidanges, il devient nécessaire de subdiviser cette filière en trois parties distinctes mais intimement liées : la partie amont constituée par les ouvrages d'assainissement, la partie intermédiaire constituée par la vidange et le transport des boues, et la partie avale relative au traitement ou à la valorisation des boues collectées.
Lors de la conférence du réseau d'expert en assainissement « Fricassant » de l'Afrique de l'Ouest et du Centre, tenue à Ouagadougou en février 2005 et organisée par le programme Eau et Assainissement de la banque mondiale, il a été reconnu la nécessité de gérer convenablement les boues de vidange si l'on veut atteindre les Objectifs du Millénaire pour développement (CMAE *et al.*,2008).

Les quantités de boues à évacuer sont de plus en plus importantes du fait de l'accroissement démographique des villes et du recours exclusif à l'ANC dans les villes des pays en développement. A titre d'exemple, la quantité des boues à évacuer était estimée à 120$m^3$/j pour la ville d'Ouagadougou selon ONEA (1993) et 300-400$m^3$/j pour la ville de Kumasi (Heins *et al.*,1998). Si on considère que chaque habitant produit environ 1 litre de boues par jour (Heins *et al.*,1998), les quantités à évacuer pour une ville de 1200 000 d'habitants seraient de 1200$m^3$ par jour, soit 120 voyages journalier d'un camion de 10$m^3$.
Une gestion non appropriée des boues anéantirait les efforts d'amélioration de l'hygiène familiale (échelle du ménage), de la salubrité et de la santé publique (échelle du quartier), et de protection de l'environnement (échelle de la commune ou d'une ville).

### I.2.1. Typologie des boues de vidange

Heins &Koottatep., 1998 subdivise les BV en deux types selon leur concentration : les boues de vidange de type A et les boues de vidange de type B.

Les BV de type A sont des boues relativement concentrées, stockées quelques jours ou semaine, biochimiquement instables, provenant des toilettes publiques ou de grande surface, d'hôtels et autres.

Les BV de type B sont des boues faiblement concentrées, stockées depuis plusieurs années et partiellement stables provenant des dispositifs d'assainissement autonome des ménages (latrine et fosse septique).

### I.2.2. Collecte, transport et dépotage

La collecte (ou vidange) des boues des installations de l'ANC dans les pays en développement, se fait aussi bien mécaniquement, par des camions hydro cureurs ou autres engins mécanisés ou semi-mécanisés, que manuellement, à la pelle et au seau (Koanda, 2006). La vidange manuelle est pratiquée par des « professionnels » vidangeurs manuels ou des membres de la famille du propriétaire de l'ouvrage vidangé. La vidange mécanique quant à elle est assurée par des entreprises privées (pour la plupart) et publiques (Koanda, 2006 ; Koné, 2010). Alors que les boues extraites mécaniquement sont transportées et déchargées jusqu'à plusieurs kilomètres des habitations, les boues vidangées manuellement sont généralement déposées dans la concession familiale, dans les voies à proximité ou dans les espaces publics non exploités et parfois dans des champs (UADE et OIEAU, 1993 ; Rehacek, 1996 ; Savadogo, 1999 ; CREPA, 2004 ; Klutsé *et al.,* 2004 ; Koanda, 2006).

Quant à la vidange semi-mécanique, son principe est tel qu'une force manuelle est appliquée mais qu'un mécanisme enlève les boues. Les motivations qui sont à la base de cette technologie de vidange sont notamment : réduire la dépendance énergétique utilisée en vidange mécanique, diminuer les risques de blocage de la pompe étant donné qu'il n'y a pas de contact entre cette dernière et les boues vidangées, résoudre les problèmes d'accessibilité rencontrés en vidange mécanique où les camions de grand calibre ont des difficultés de passer dans des ruelles des quartiers non planifiés des pays en développement, utiliser des outils faciles à maintenir localement étant donné que ces technologies sont fabriquées sur place ou tout au moins peuvent être adaptées localement et enfin permettre une vidange à un prix abordable comparativement à la vidange mécanique qui est jugée chère (Muller et Rijn burger, 1988 ; Thye *et al.*, 2009). La vidange semi-mécanique reste néanmoins bénéfique

quand les boues sont dépotées à une faible distance du lieu de vidange, ce qui veut dire que l'utilisation des stations de transfert devient alors une nécessité pour une bonne gestion de ces boues.

Face à cette problématique évoquée dans le paragraphe précédent, des approches décentralisées ont été développées pour fractionner le processus de transport en deux étapes, respectivement qualifiées de « transport primaire » et « transport secondaire ». Au niveau du transport primaire, des chariots ou des véhicules de faible capacité acheminent les boues depuis le point de collecte jusqu'à une station de transfert de proximité. Lors du transport secondaire, un équipement de grande capacité, tel qu'un camion de vidange, est utilisé pour vidanger la station de transfert et évacuer les boues vers le site de dépôt final.

Ainsi, pour fonctionner convenablement, les stations de transfert doivent être accessibles à l'ensemble des équipements utilisés pour les transports primaire et secondaire. On distingue deux types de stations de transfert : les stations « fixes » et les stations « mobiles ».

a) **Stations de transfert fixes**

On distingue quatre sous-catégories pour ce type de station :

- Les « cuves de stockage fixes » qui sont des fosses en béton maçonné, conçues pour stocker les boues de vidange sur une courte durée et sans les traiter.
- Les cuves enterrées décrites par Boot (2007) rencontrées à Accra, au Ghana. Avec une capacité de 23 $m^3$ environ, ces cuves étaient conçues pour recueillir les boues des vidangeurs manuels (transport primaire) avant d'être vidangées par des camions de vidange (transport secondaire).
- Un troisième type de station est le « réservoir fixe multifonction ». En plus du stockage, ces stations peuvent aussi admettre les boues fraîches issues de toilettes publiques et/ou assurer un traitement partiel des boues.
- Le quatrième type de station de transfert fixe est le type « connecté au réseau d'égoût ». Ces stations sont directement ou indirectement connectées au réseau d'égoût existant, lequel assure le transport secondaire des boues de vidange et/ou de leurs résidus liquides.

**b) Stations de transfert mobiles**

Les stations de transfert mobiles sont des réservoirs facilement transportables qui permettent le stockage des boues depuis n'importe quel point à proximité du dispositif vidangé.

Ce sont essentiellement des réservoirs montés sur un châssis roulant.

Ces stations peuvent être des véhicules motorisés ou bien des cuves montées sur des remorques tractées à l'aide d'un camion ou d'un tracteur (Strauss et Montangero, 2002).

Entre autres technologies utilisées en vidange semi-mécanique, on peut citer le cas de MAPET (Manual Pit-latrine Emptying Technology) qui a été développé en Tanzanie et à Nairobi (Kenya), Gulper testé également en Tanzanie, Nibbler et Gobbler utilisées en Afrique du sud (ORiordan, 2009 ; Thye *et al.*, 2009).




**Figure 1.1 : Véhicules de vidange mécanique (a) Vacuum tank (b) Maraval (c) Dung Beetle et (d) vacuum (O'Riordan, 2009 cité par Bigumandondera , 2014)**




**Figure 1.2 : Vidange semi-mécanique : (a) et (b) Sugden, 2005 ; (c) Photo MAPPET klingl *et al*., 2002**




**Figure 1.3 : Vidange manuelle d'une fosse à Dar es Salam : (a) homme se trouvant dans la fosse (b) à l'extérieur de la fosse un autre déverse les boues dans la cour de la parcelle (Sölden, 2005)**

### I.2.3. Traitement des boues de vidange

A l'inverse de la collecte et du transport, il faut noter que les initiatives de traitement des boues de vidange sont très limitées. Le financement et la gestion d'une station de traitement des boues sont des opérations hautement plus complexes que la vidange des ouvrages d'ANC. En Afrique sub-saharienne, des projets pilotes relatifs à certaines des techniques de traitement des BV ont déjà été lancés, (Strauss et Montangero, 2002). Par ailleurs, le choix de l'un ou l'autre de ces procédés dépend essentiellement des objectifs de traitement (production d'énergie et/ou des fertilisants agricoles, réutilisation des eaux en irrigation, déversement des effluents dans les eaux de surface, etc.) comme le montre la Figure 1.4.

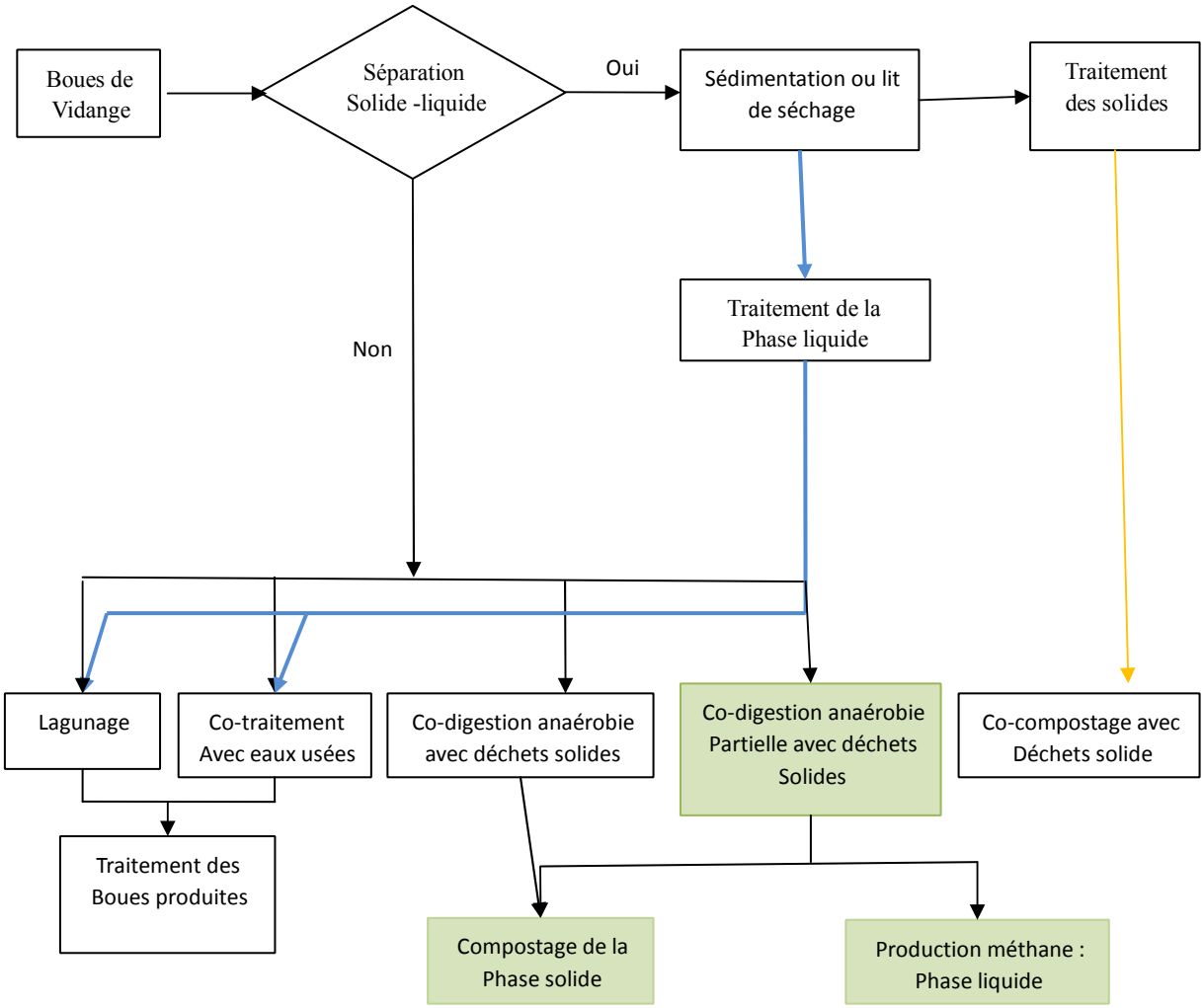



**Figure 1.4: Options potentielles de traitement/valorisation des boues de vidanges (Bigumandondera, 2014)**

La figure 1.4 présente un aperçu d'options potentielles qui peuvent être facilement mises en œuvre dans le contexte des pays en développement pour le traitement des boues de vidange et qui s'orientent vers la conversion de la matière en un produit valorisable notamment la production d'énergie et du compost organique pour l'amendement du sol.

D'après Strauss, 1995 Cité par Ambassa, 2005 et Klingel *et al.*, 2002, les boues de vidange constituent une bonne source pouvant être convertie en un engrais organique lorsqu'elles sont bien traitées (Tableau 1.1).

**Tableau 1.1 : Valeur en nutriments des excréta (Strauss, 1995 Cité par Ambassa, 2005)**

| Nutriments | Composition chimique (% MS) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fèces | Urine | Excréta | Matière végétale | Fumier de porc | Fumier de vache |
| Matière organique | 92 | 75 | 83 | - | - | - |
| C | 48 | 13 | 29 | - | - | - 2,5 |
| N | 4-7 | 14-18 | 9-12 | 1-11 | 4-6 | 1,8 |
| $P_2O5$ | 4 | 3,7 | 3,8 | 0,5-2,8 | 3-4 | 1,4 |
| $K_2O$ | 1,6 | 3,7 | 2,7 | 1,1-11 | 2,5-3 | |

Le tableau ci-dessus présente les proportions de la composition chimique en matière sèche des valeurs en nutriments des excréta.

### I.2.4. Quantification des boues de vidange

La détermination précise du volume de boues produites et vidangées est essentielle pour les besoins de dimensionnement des infrastructures requises, tant pour la collecte et le transport des boues que pour les sites de dépotage, les stations de traitement et leur réutilisation ou tout simplement la mise en dépôt des boues. Parmi les méthodes de quantification des BV, on distingue celle liée à la quantification basée sur la collecte des boues. Elle consiste à comptabiliser le nombre de déversement quotidien sur le site de dépotage et celle basée sur la production des boues. Elle englobe les méthodes basées sur la production spécifique, la demande en vidange mécanique, la caractérisation des ouvrages de stockage des boues ainsi que celle liée à l'évaluation du chiffre d'affaire de l'opérateur de vidange. La description de chacune de ces méthodes est présentée ci-dessous.

#### I.2.4.1. Méthodes basées sur la production de boues

##### I.2.4.1.1. Méthode 1 : « Productions spécifiques »

La 1ère méthode se base sur la quantité de boues produite par habitant, par jour et par type d'ouvrage pondéré au nombre d'habitants utilisant la latrine traditionnelle et la fosse septique comme ouvrage d'assainissement. La quantité totale de boues produite dans une localité est donnée par la formule de l'équation (1).

L'estimation des quantités de boues produites (Q en $m^3$/an) a été faite par la formule suivante (Bluniers *et al*., 2004)

$$\mathbf{Q=365*(\frac{PLS*qLT+PFS*qFS}{1000})} \qquad \mathbf{Eq.\ (1)}$$

Où

Q ($m^3$/an) est la quantité totale de boues produite ;

PLS est le nombre de personnes utilisant les latrines traditionnelles ;

qLT (l/j/habitant) est la production spécifique de boues pour une latrine traditionnelle.

PFS est le nombre de personnes utilisant les Fosses Septiques(FS) ;

qFS (l/j/habitant) est la production spécifique de boues pour une Fosse Septique

Dans cette formule, les latrines VIP et toilette à chasse manuelle sont assimilées aux latrines traditionnelles. Les latrines traditionnelles ont une production spécifique estimée de 0.3l/j/hab. (Koanda, 2006) tandis que les fosses septiques ont une production spécifique estimée de 0,29l/j/hab. (Bigumandondera, 2014).

#### 1.2.4.1.2. Méthode 2 : « Demande en vidange mécanique »

Basée sur la demande en vidange mécanique, cette méthode dépend de la capacité et des performances des opérateurs de vidange. Elle utilise les paramètres tels que le nombre de rotations effectuées par camion et par jour, le volume vidangé par rotation, la fréquence moyenne de vidange des installations et la proportion de la population ayant recours à la technique de la vidange mécanique.

$$\text{Qméc} = \sum_i N * \frac{pmeci}{fmeci} * \text{vi} * \eta\text{i} \quad \text{Eq. (2) (Koanda, 2006)}$$

Où :

N est le nombre total d'ouvrages existant dans la localité

$Q_{mec}$ [$m^3$/an] est la quantité de boues vidangées mécaniquement

Pmeci [%] est la proportion d'ouvrages vidangés mécaniquement

$f_{meci}$ [an] est la fréquence de vidange des ouvrages vidangés mécaniquement

Vi [$m^3$/rotation] est le volume utile du camion

$\eta_i$ [rotations/ouvrage] est le nombre de rotations nécessaires pour vider un ouvrage d'assainissement de type i. Il se calcule en rapportant le volume utile du camion au volume moyen de l'ouvrage en question.

Dans le cas de plusieurs camions, le paramètre "*vi"* devrait être la moyenne des volumes utiles de tous les camions.

### I.2.4.1.3. Méthode 3 : « Caractéristiques des ouvrages d'assainissement »

Cette méthode se base sur les résultats de la caractérisation des ouvrages d'ANC. La quantité de boues produites est donnée par les équations (3), (4) et (5). Pour tenir compte du fait que le camion n'aspire pas tout le contenu de la fosse, nous avons introduit un coefficient de correction " αi". Cette correction ne concerne pas les ouvrages vidangés manuellement car ils sont en général totalement vidés de leurs contenus (Koanda, 2006).

$$Qméc = \sum_i N * \frac{pmeci}{fmeci} * vi * \alpha i \qquad \text{Eq. (3)}$$

$$Qman = \sum_i N * \frac{pmani}{fmani} * vi \qquad \text{Eq. (4)}$$

$$Q = Qmec + Qman \qquad \text{Eq. (5)}$$

Où :

$Q_{mec}$ [$m^3$/an] est la quantité de boues produites dans les ouvrages vidangés mécaniquement

$Q_{man}$ [$m^3$/an] est la quantité de boues produites dans les ouvrages vidangés manuellement

$p_{meci}$ [%] est la proportion des ouvrages vidangés mécaniquement

$p_{mani}$ [%] est la proportion des ouvrages vidangés manuellement

$f_{meci}$ [an] est la fréquence moyenne de vidange mécanique

$f_{mani}$ [an] est la fréquence moyenne de vidange manuelle

N [ouvrages] est le nombre total d'ouvrages existant dans la localité

$V_i$ [$m^3$] est le volume moyen des ouvrages d'assainissement

αi est un coefficient de correction pour tenir compte du volume de boues de fonds non aspirées par le camion.

Q [$m^3$/an] est la quantité totale de boues vidangées dans la localité

### I.2.4.1.4. Méthode 4 : « Chiffre d'affaires de l'opérateur de vidange »

La 4ème méthode se base sur le compte d'exploitation des opérateurs de vidange, à partir duquel on déduit le nombre de rotations effectué par an. Cette méthode permet d'estimer la quantité de boues vidangées mécaniquement par l'équation (6).

$$Qmec = N_{rot} * V \qquad \textit{Eq. (6) (Koanda, 2006)}$$

Où :

$Q_{mec}$ [$m^3$/an] est la quantité de boues collectées par l'opérateur

$N_{rot}$ est le nombre de rotations par an, obtenu en rapportant le chiffre d'affaires au tarif de vidange

V [$m^3$/rotation] est le volume effectivement vidangé par rotation

A l'échelle d'une ville, la quantité totale vidangée mécaniquement peut être obtenue en cumulant les quantités vidangées par toutes les entreprises œuvrant dans cette ville. Pour les entreprises opérant avec des camions vidangeurs de capacités différentes, pratiquant des tarifs différenciés, il faut considérer le volume moyen et le tarif moyen.

### I.2.4.2. Méthode basée sur la collecte de boues.

Quant aux quantités de boues pompées (vidange mécanique) par an, la méthode est basée sur le comptage du nombre de tours de vidange et le volume du camion (Koanda, 2006).

$$Q = 365 * N * V$$

Q ($m^3$/an) : quantité de boues pompées

N : Nombre total de tours effectués par les camions par an

V : Volume d'un camion ($m^3$)

Pour obtenir une estimation réaliste de la quantité de boues à collecter et à traiter, on prend en compte les aspects suivants :

- ✓ Les installations sanitaires peuvent avoir été mal conçues et ne pas accumuler la quantité des boues prévues ;
- ✓ Toutes les installations sanitaires accumulant de boues ne sont pas réellement vidangées à intervalle régulier, quand elles le sont ;
- ✓ Les boues des fosses des latrines ne sont totalement extraites, une certaines quantités de boues solidifiées y restant fixées ;
- ✓ Toutes les boues collectées par les entreprises ou les individus ne sont pas livrées à la station une partie peut être déversée ailleurs ;
- ✓ Les boues peuvent être diluées au ramassage, volume et concentration s'en trouvant modifiés.

## I.3. Caractéristiques des boues de vidange

Les paramètres de caractérisation des boues de vidange sont classiquement : les matières sèches, la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO), les nutriments, les germes pathogènes et les métaux. Le Tableau 1.2 fait une compilation des valeurs de la littérature des caractéristiques des boues de vidange.

Ces caractéristiques concernent les boues de vidange provenant de fosses septiques, latrines traditionnelles ou toilettes publiques.

**Tableau 1.2 : Les paramètres caractéristiques des boues de vidange**

| Origines des boues | pH | MES (mg/l) | %MVS dans MES) | DCO (mg/l) | $DBO_5$( mg/l) | $N\text{-}NH_4$ (mg) | DCO/ DBO | Références |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fosse septique | - | 7077 | 57 | 7607 | 1453 | - | 5,2 | Bassani *et al.*, 2013 |
| Latrine sèche | - | 10982 | 64 | 12437 | 2126 | - | 5,8 | |
| Toilette publique | - | - | - | 49000 | 6700 | 3300 | 7,3 | Koné *et al.*, 2011 |
| Fosse septique | - | 12862 | 70 | 31900 | 6480 | 97 | 4,9 | Lossing, 2009 |
| Fosse septique | - | 2200-21600 | 73 | 1200-76000 | 600-5500 | 120-1200 | 2,13 | Koné et Strauss, 2004 |
| Fosse toutes eaux | - | 29000 | 65 | 29700 | 5800 | 885 | 5,1 | Boutim, 2009 |
| Fosse septique | 6,7-8 | 3150-21600 | - | 5400-34500 | 600-5500 | 200-590 | - | Koottatep *et al.*, 2001 |
| Toilette publique | - | 30000 | - | 20000-50000 | - | 2000-5000 | - | Heins, 1998 |
| Fosse septique | - | 7000 | - | 10000 | - | 1000 | | |
| Latrine sèche | - | - | - | 50000 | 30000 | - | 1,6 | Shiru&Bo,1991 |
| Fosse septique | 7,3 | 2130 | 73 | 3853 | - | - | - | Mbeguéré *et al.*, 2011 |
| Fosse septique | | 34920 | 28 | 39585 | 5000 | 96,08 | 7,9 | Bigumandondera, 2014 |

Comme le montre les valeurs présentées au Tableau 1.2, les caractéristiques des boues de vidange affichent une grande hétérogénéité marquée par une variabilité des concentrations en DCO, $DBO_5$ et MES. Le rapport DCO/DBO5 est supérieur à 3 et montre que les boues de Vidanges sont relativement peu biodégradables, le taux des MVS dans les MES varie entre 50-73% signe que les boues de vidange renferment encore une partie non négligeable de matières organiques qu'il conviendrait de valoriser mais cette donnée constitue en même temps un avertissement sur les conséquences sanitaires et environnementales encourues en cas de leur déversement dans la nature sans traitement préalable.

La grande variabilité des caractéristiques affichées par les boues de vidange serait due principalement :

- ✓ A la nature de l'ouvrage de stockage des boues (fosse septique, latrine sèche ou toilette publique) :
- ✓ Pour une fosse septique, les boues sont stockées pendant un certain temps dans un milieu anaérobie et se trouvent dans la plupart des cas dans un état stabilisé lors de la vidange ;

- Pour une latrine sèche les boues sont moins diluées car peu de liquide y est admis alors que dans le cas d'une toilette publique les périodes de vidange sont très rapprochées (de quelques jours à quelques semaines) du fait que ces latrines sont utilisées par un nombre élevé de personnes et les boues qui y sont vidangées sont réputées biochimiquement instables.

- ✓ A la technologie utilisée pour la vidange :

- Vidange avec remise du liquide dans la fosse versus vidange intégrale de la fosse c'est à-dire englobant la phase solide, liquide et le chapeau.
- Vidange d'une partie de la boue constituée en grande partie par le surnageant laissant dans la fosse les boues accumulées au fond et stabilisées.

A la méthode d'échantillonnage (prise des échantillons à caractériser au laboratoire) : ici intervient la notion de représentativité de l'échantillon. Toute la question est de savoir comment 10L (par exemple, prélevés en surface ou dans le liquide ou dans les sédiments) peuvent reproduire une image fidèle des 4000 L de boues d'une fosse septique.

## I.4. Situation générale de la gestion des boues de vidange en ville de Bujumbura

### I.4.1. Introduction

Les technologies de stockage des excrétas peuvent être classées, en fonction de leur degré d'utilisation de l'eau ( Figure 1.5 ), en quatre grandes catégories : les latrines, les toilettes à chasse manuelle,les fosses septiques et les réseaux d'égoûts couplés à une station d'épuration collective. Outre la disponibilité de l'eau, d'autres facteurs notamment financiers, urbanistiques et technologiques peuvent influer sur le choix du système d'assainissement adopté par le ménage.

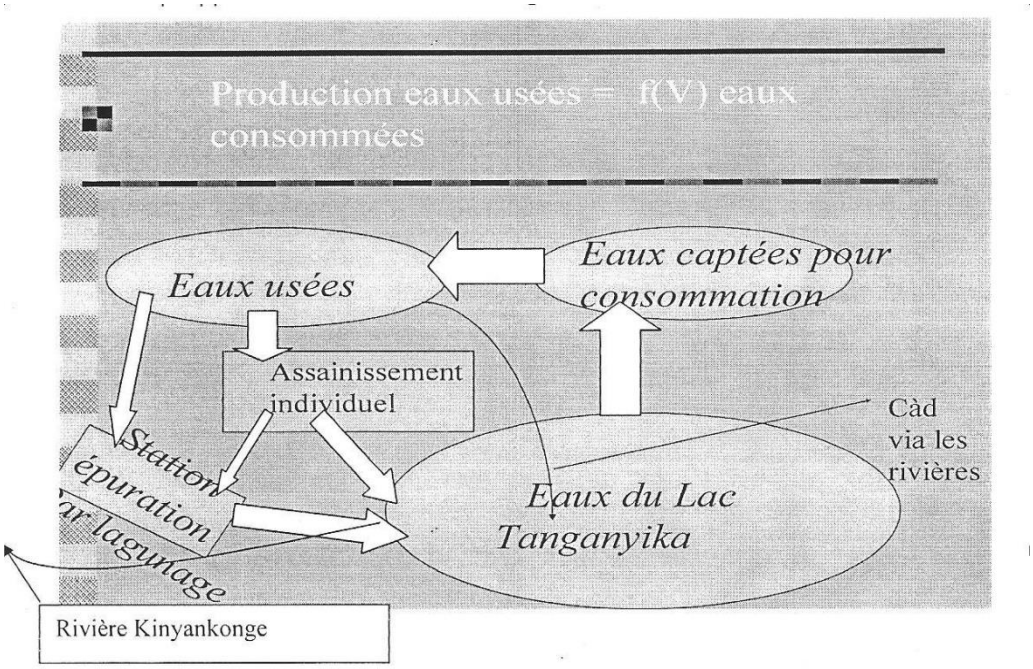



**Figure 1.5 : Cycle d'utilisation d'eau dans la ville de Bujumbura Source : Nsavyimana, 2007 cité par Niyungeko, 2007**

La figure 1.5 montre que la production des eaux usées est en relation directe avec les eaux consommées au niveau des ménages et des entreprises, lesquelles eaux usées sont gérées dans un système d'assainissement collectif (STEP Buterere) ou d'ANC (Nsavyimana, 2007).

A Bujumbura, seuls quelques quartiers sont desservis par un réseau d'égoût. Le reste de la ville étant principalement raccordé à des dispositifs d'ANC (Tableau I.3 ). Presque la totalité des ouvrages d'assainissement non collectif sont de types latrines traditionnelles (Figure I.4) et la gestion des BV (quantité et qualité) est fortement dépendante de cet état de chose.

Il convient de noter que la gestion des boues de vidange est confiée aux acteurs du secteur public (OBUHA) et privé. La collecte (vidange) et le transport des boues contenues dans ces ouvrages d'ANC, se fait aussi bien mécaniquement par des camions vidangeurs, que manuellement, à la pelle et au seau. La vidange mécanique est effectuée en grande partie par les sociétés privées de vidange, tandis que l'OBUHA a mis à la disposition de ces sociétés de vidange mécanique une station d'épuration des eaux usées comme site de dépotage des matières vidangées moyennant paiement d'une somme d'argent, de la part de ces sociétés, représentant la taxe de dépotage. Le tableau 1.3 montre le pourcentage de la population par type d'assainissement utilisé en ville de Bujumbura.

**Tableau 1.3: Pourcentage de la population par type d'assainissement dans la ville de Bujumbura**

| Ville de Bujumbura | Nombre de ménage | personnes | Assainissement collectif (%) | Assainissement non collectif (%) |
|---|---|---|---|---|
| TOTAL | 97 805 | 497 166 | 9,1 | 89,9 |

**Source : Ministère de l'Énergie et des Mines, 2011**

Le tableau 1.4 montre que la proportion des populations équipées par les latrines traditionnelles est grande que celle équipée par des fosses septiques. On constate qu'il y a une petite partie de la population qui n'a pas d'ouvrages d'assainissement dans leur concession. Aussi, dans certaines zones, il se remarque un mélange des deux types d'assainissement, il s'agit des zones Ngagara, Bwiza, Gihosha, Buyenzi et Rohero.

**Tableau 1.4 : Proportions des utilisateurs des LT Vs FS**

| Zone | Buterere | Buyenzi | Bwiza | Cibitoke | Gihosha | Kamenge | Kanyosha | Kinama | Kinindo | Musaga | Ngagara | Rohero |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % population équipée de LT | 74 | 72 | 48 | 79 | 40 | 84 | 72 | 85 | 1 | 68 | 5 | 14 |
| %population équipé de FS | 6 | 25 | 16 | 18 | 56 | 9 | 21 | 14 | 99 | 28 | 19 | 68 |
| % pas de toilette | 20 | 1 | 0 | 3 | 3 | 6 | 7 | 6 | 0 | 4 | 5 | 4 |

Source : Plan directeur d'Assainissement des eaux Usées et des Excrétas de Bujumbura, 2013

### I.4.2. Les acteurs du domaine de la vidange mécanique des boues à Bujumbura (Bigumandondera, 2014)

A tout projet de gestion de boues de vidanges, l'aspect organisationnel des différents acteurs devient incontournable pour la réussite de ce projet. Ainsi, en ville de Bujumbura, trois principaux acteurs sont concernés par l'opération de la vidange mécanique des boues.

### I.4.2.1. Les ménages

La quantité de boues produites évolue dans le même sens que l'accroissement de la population . Les ménages sont donc les premiers acteurs dans la gestion de boues de vidange,ce sont eux qui constatent que l'ouvrage nécessite une vidange et font appel à l'entreprise de vidange. Les points faibles pour cette catégorie d'acteurs sont entre autres :

- Faibles revenues des ménages,
- Ignorance de la réglementation sur la vidange,
- Non -respect des normes de construction et mauvaise utilisation des ouvrages,
- Manque d'infrastructure de base en assainissement,

Les ménages ont également le rôle de veiller à la maintenance de l'ouvrage d'assainissement notamment en faisant en sorte que l'ouvrage reste accessible à la vidange. Le prix à payer pour la vidange revient aussi dans la responsabilité du chef de ménage qui doit négocier avec les entreprises de vidange avant que ces derniers ne viennent dans la concession pour vidanger.

### I.4.2.2. Les entreprises de vidange

Les entreprises de vidange disposent des engins destinés à vidanger et transporter les boues depuis les domiciles des ménages jusqu'au site de dépotage. Leur rôle est de fournir un service de qualité conformément au contrat signé avec le ménage au moment de la vidange.

### I.4.2.3. Les pouvoirs publics

Les pouvoirs publics désignent tout organisme de l'état chargé de faciliter la gestion des boues de vidange. On peut parler notamment :

- ceux qui sont chargés de gérer les sites de dépotage des boues ,
- ceux qui sont chargés du lotissement et de la viabilisation des sites à construire étant donné que la vidange mécanique n'est possible que quand le quartier ou la ville en question est mieux nantie en voie d'accès notamment les routes vastes pour permettre le passage des camions vidangeureurs,
- ceux qui sont chargés d'agréer les ouvrages recueillant les eaux usées et les excrétas,ici on peut parler de la direction générale de l'assainissemnt ou du ministère de la santé.

Les pouvoirs publics ont le rôle de favoriser le cheminement de toute la quantité de boues de vidange vers le site dédié à cet effet en faisant payer le moins cher posssible la taxe de dépotage. L'autre rôle dédié aux pouvoirs publics est de pérenniser le bon fonctionnement du site de dépotage**.**

# CHAPITRE II. MATERIEL ET METHODES

## II.1. Description du milieu d'étude : Ville de Bujumbura.

### II.1.1. Situation géographique, administrative et démographique de la ville de Bujumbura

#### II.1.1.1. Situation géographique.

La ville de Bujumbura, capitale économique de la République du Burundi (pays d'Afrique centrale), est située à l'Ouest du pays au bord du lac Tanganyika. Ce lac est utilisé pour l'approvisionnement en eau de boisson de cette ville et ses environs (Capart, 1952). La ville de Bujumbura correspond au point de coordonnées géographiques 29°17′07″ longitude Est et 3°20′46″ latitude Sud et 29° 20′ 09″ de longitude Est et 3° 31′ 53″ de latitude Sud.

La ville de Bujumbura a aujourd'hui une superficie de 14.500 hectares (d'après la nouvelle délimitation), le relief est caractérisé par une plaine de basse altitude qui se relève d'Ouest en Est avec une altitude de 805 m par rapport au niveau de la mer (**https://dateandtime.info/fr/citycoordinates.php?id=425378)**. Le climat de type tropical offre un ensoleillement dominant toute l'année et une température moyenne de 23ºc avec des pics à 28°- 30°C au cours des périodes les plus chaudes. Bujumbura comme l'ensemble du pays, connaît quatre saisons : la grande et la petite saison sèche, la grande et la petite saison pluvieuse (MEEATU, 2013).

#### II.1.1.2. Situation administrative de la ville de Bujumbura

La municipalité de Bujumbura est subdivisée en trois communes urbaines (figure 2.1) : NTAHANGWA, MUKAZA et MUHA. Chaque commune étant à son tour subdivisée en autant de zones que l'exige son étendue, Kanyosha, Kinindo et Musaga pour la commune MUHA, Rohero, Nyakabiga, Bwiza, Buyenzi pour la Commune MUKAZA, Ngagara, Cibitoke, Kamenge, Kinama, Buterere et Gihosha pour la Commune NTAHANGWA.

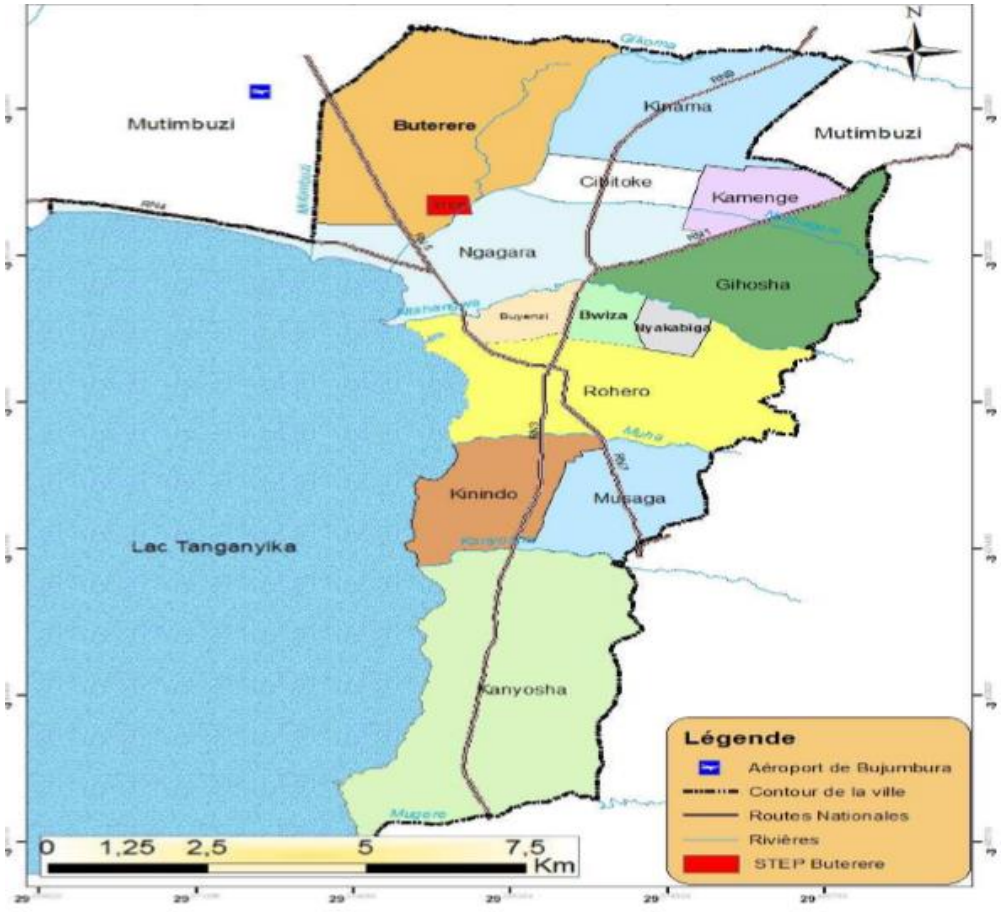



**Figure 2.1 : Carte Administrative de la ville de Bujumbura (Bigumandondera, 2014)**

### II.1.1.3. Situation démographique

Le recensement de la population de la ville réalisé en 2008 aboutit à une population de 497.166 habitants. La population lors du recensement de 1990 était de 234.440 habitants. L'accroissement annuel moyen entre 1990 et 2008 est de 4,2% (PDAEUEB, 2012). En 2020, la population de la ville de Bujumbura est estimée à environ 1127954 habitants (**Annuaire Statistique du Burundi, 2017).** Selon les estimations, son évolution depuis 2018 pour les différentes zones qui constituent les trois communes est présentée à la Figure 2.2 ci-dessous.

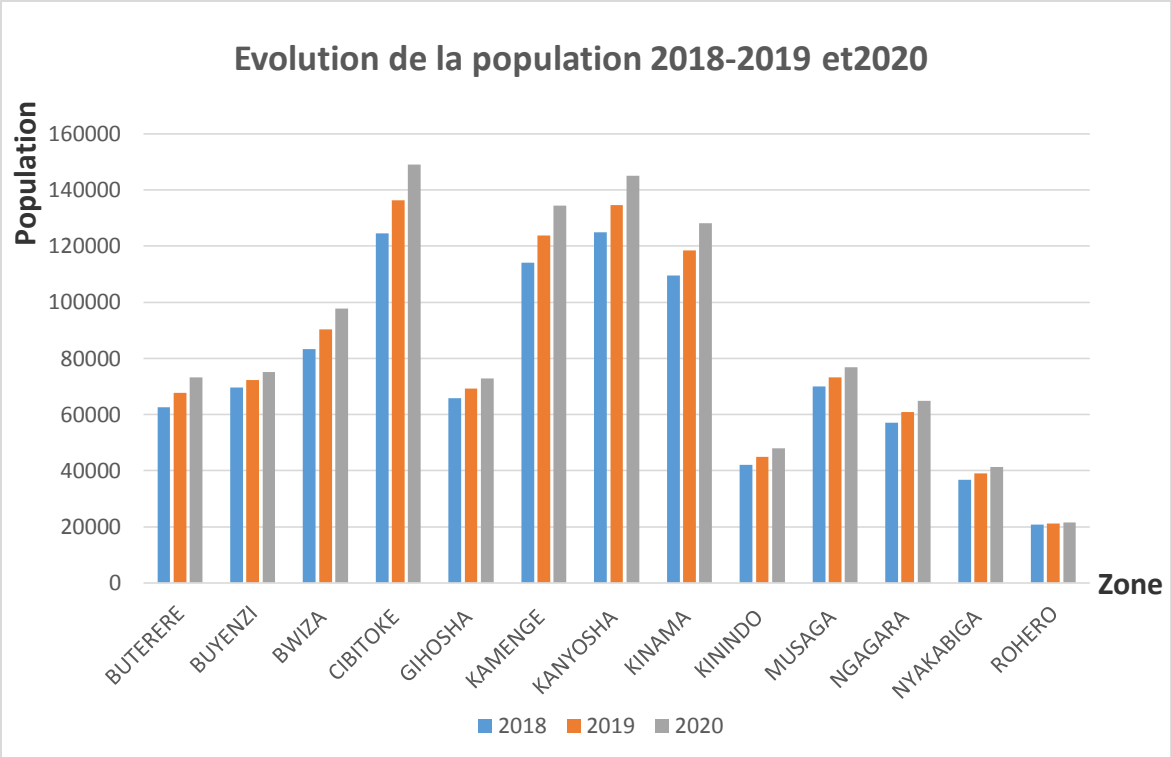



**Figure 2.2 : Evolution de la population de la ville de Bujumbura de 2018-2019 et 2020**
**Source : Annuaire Statistique du Burundi, 2017**

### II.2. Approche méthodologique

La méthodologie mise en œuvre pour caractériser les boues de vidange produites en ville de Bujumbura comporte quatre composantes majeures.

#### II.2.1. Revue documentaire

Elle a permis de rechercher dans les travaux de la littérature existants sur la thématique, les informations disponibles sur l'assainissement et la gestion des boues de vidange et plus particulièrement sur les méthodes de quantification des BV.

#### II.2.2. Routages des camions vidangeurs

Afin de mieux comprendre le métier de la vidange mécanique des boues, nous avons effectué 100 routages de camions qui s'occupent de la vidange des fosses septiques et des latrines traditionnelles des ménages de la ville de Bujumbura. Cette opération de routage de camions vidangeurs a duré 16 semaines soit 4 mois. Allant de la collecte, au transport jusqu'au déversement des boues au site de dépotage (Figure 2,3). Ce routage nous a permis d'avoir entre autres informations sur : le site de dépotage, la caractérisation des ouvrages vidangés, le

temps de transport des boues, le temps moyen de vidange des fosses et des latrines, le temps de dépotage, les temps morts, les distances parcourues, la consommation de carburant du camion et de la pompe d'aspiration par rotation, les prix réellement pratiqués pour la vidange des fosses et des latrines, le nombre de rotation par jour et par camion.

Au cours de cette activité de routage des camions vidangeurs, il a été également possible d'identifier les contraintes liées à l'opération de la vidange, au transport des boues et au dépotage. Cette partie nous a en outre permis de mieux comprendre les quantités de boues qui arrivent au site de dépotage par rapport à celles attendues mais également les caractéristiques de ces mêmes boues.

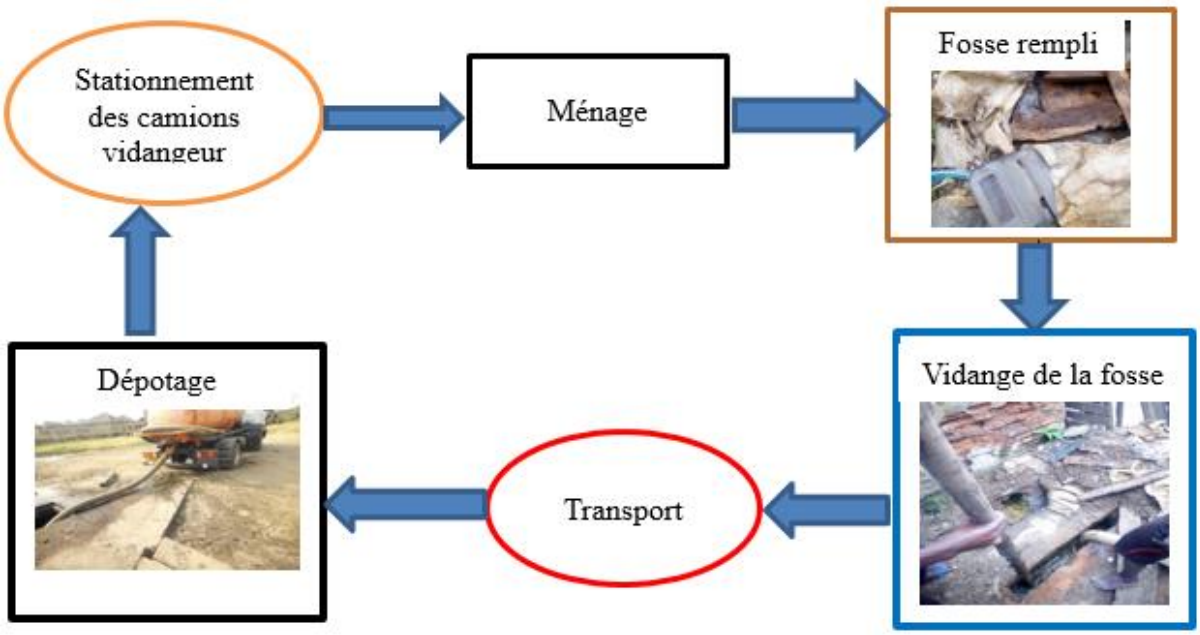



**Figure 2.3 : Circuit de routage des camions vidangeurs**

### II.2.3. Quantification des boues

Au cours de cette recherche, deux méthodes de quantification ont été utilisées. Celle basée sur la production des boues et celle basée sur la collecte des boues.

#### II.2.3.1. Méthode basée sur la production de boues

Parmi les quatre méthodes exposées dans la littérature **(I.2.4.1),** la méthode utilisée est celle basée sur la production spécifique des boues dont son choix est guidé par les données disponibles pour le cas de la ville de Bujumbura.

$$\mathbf{Q=365*}\left(\frac{\boldsymbol{PLS*qLT+PFS*qFS}}{\mathbf{1000}}\right)$$

Où :

$Q$ ($m^3$/an) est la quantité totale de boues produite ;

*PLS* est le nombre de personnes utilisant les latrines traditionnelles ;
*qLT*(l/j/habitant) est la production spécifique de boues pour une latrine traditionnelle.
*PFS* est le nombre de personnes utilisant les Fosses Septiques(FS) ;
*qFS* (l/j/habitant) est la production spécifique de boues pour une Fosse Septique

### II.2.3.2. Méthode basée sur la collecte de boues

La méthode est basée sur le comptage du nombre de tours par jour des camions vidangeurs œuvrant dans la ville de Bujumbura. Pour une période de janvier 2018 à mars 2020, il a été collecté les données des volumes de boues qui arrivent à la station d'épuration de Buterere et qui sont enregistrées dans les cahiers mis en place par les services de la station d'épuration.
Les quantités des boues de vidanges ont été alors estimées sur base du nombre de rotations de chaque camion durant la période susmentionnée. Cette estimation se fait en considérant que le taux de remplissage du camion est de 100% pour chaque tour effectué. En annexe la Figure 2.4 montre un extrait des cahiers d'enregistrement quotidien des boues qui arrivent à la station.

### II.2.4. Caractéristiques des boues dépotées à la station de Buterere

En plus de la détermination des quantités dépotées à la STEP Buterere, il a été réalisé une caractérisation au laboratoire par l'analyse de certains paramètres sur les échantillons de boues collectés sur les camions vidangeurs.

### II.2.4.1. Échantillonnage des boues au niveau du camion vidangeur

#### a.). Matériel de prélèvement et équipements de protection

Le matériel de prélèvement est composé d'un gobelet, d'une glacière, d'un entonnoir et de bouteilles plastiques tandis que le matériel de protection individuelle est constitué, de gants à usage unique, de cache nez, de blouse et des chaussures de sécurité.

#### b.) Matériel de prélèvement, de conditionnement et de conservation

Les échantillons de boues ont été prélevés comme l'indique Klinger *et al.*, (2002), directement pendant le déchargement sur le site de dépotage pour garantir leur représentativité. Sur chaque camion-citerne de vidange, quatre sous échantillons d'environ 2 litres sont prélevés en raison de : un échantillon au début du dépotage, deux au milieu, et un dernier à la fin du dépotage. Les quatre sous échantillons sont ensuite mélangés pour former un échantillon composite. Cet échantillon composite destiné aux analyses physicochimiques a été transvasé dans un flacon en plastique portant les indications relatives à la date, l'heure, la provenance et les valeurs des

paramètres mesurés in situ. Les bouteilles sont placées dans une glacière et transportées jusqu'au laboratoire où ils sont conservés dans un réfrigérateur à la température maximale de 4°c pour être analysés dans les 24 heures qui ont suivi l'échantillonnage.



**Figure 2.4 : Échantillonnage sur le Camion**



**Figure 2.5: Transvasement de l'échantillon dans les flacons en plastique**



**Figure 2.6 : Conservation des échantillons dans la glacière**

### II.2.4. 2. Méthodes d'analyse des échantillons au laboratoire

Aux cours de ce travail, les échantillons de boues brutes prélevés au niveau des camions vidangeurs ont été analysés au laboratoire d'analyse chimique et environnementale (LACE). Les analyses ont porté sur les paramètres généraux qui sont, la Conductivité Electrique, le Potentiel Hydrogène (pH), les matières en suspension, et les paramètres spécifiques tels que la demande biochimique en oxygène, la demande chimique en oxygène, les nitrates, les phosphates et l'azote ammoniacal.

#### II.2.4.2.1. Le pH et la conductivité

Le pH, et la Conductivité Electrique (CE) ont été mesurées *in situ* avec le Multi paramètres HACH HQ40d muni des différentes sondes, suivant le même protocole en changeant simplement de sondes en fonction du paramètre à mesurer. La lecture est faite après stabilisation de l'affichage (Martin, 2016)

#### II.2.4.2.2. Matières en suspension (MES)

**Principe**

La pollution d'une eau peut être associée à la présence de particules en suspension. Celles- ci sont déterminées par filtration sur une membrane filtrante en fibres de verre (norme AFNOR, NF T90-105).

**Mode opératoire**

Le filtre est d'abord lavé à l'eau distillée, ensuite séché à 105°C à l'étuve pendant environ 30 minutes, puis placé dans un dessiccateur. Le filtre a été pesé et on enregistre une masse $m_0$. Un volume connu d'échantillon à analyser (V) est homogénéisé puis filtré (Figure 2.7a).

Le récipient ayant contenu la prise d'essai est rincé, de même que le dispositif de filtration, avec de l'eau distillée ; le filtre contenant les MES est séché pendant deux heures à l'étuve et à 105°C. Après refroidissement, on pèse le filtre et son contenu. On enregistre une masse $m_1$. Le filtrat est récupéré pour la mesure de la DCO et de la DBO filtrées (Figure 2.7b).

**La teneur en matières en suspension est donnée par** :

$$MES = \frac{(m1 - m0)}{v} \times 1000 \qquad \text{Eq. (1)}$$

Où le facteur 1000 permet de rapporter la teneur en mg/l et V : le volume de l'échantillon. $m_1$ : la masse du filtre + solides (g) (après séchage à105 °C) ; $m_0$ : masse du filtre vierge (g)




**Figure 2.7 : a) Pompe à vide pour la filtration b) Boues filtrées**

Pour déterminer les matières volatiles en suspension, l'échantillon déshydraté est calciné au four à 550°C pendant deux heures, puis la cendre qui en résulte est d'abord acclimaté (pendant 1heure dans un dessiccateur) avant d'être pesé pour avoir une masse $m_3$. Les MVS, correspondent alors aux résultats obtenus en ôtant de la masse de l'échantillon déshydraté, celle de la cendre résiduelle.

**Expression des Matières volatiles en suspension.**

$$MVS = \frac{m3-m2}{V} \times 1000 \qquad \text{Eq. 2}$$ Où

MVS : quantité de matières volatile en suspension (mg/l) ;

$m_2$ : masse du filtre + solides avant calcination (g) (après 105 °C) ;

$m_3$ : masse du filtre + solides après calcination (g) (après 550°C) ;

V : volume d'échantillon utilisé (ml).

### II.2.4.2.3. Demande chimique en oxygène

**1. Principe (Rodier, 2009)**

Lors de l'analyse de la DCO, nous avons utilisé un photomètre Palintest. Cette méthode comprend deux étapes :

**Une étape de minéralisation :** avec un bloc chauffant pouvant recevoir douze tubes. Les tubes avec bouchon vissable et contenant tous les réactifs pré-dosés ($H_2SO_4$, $Ag_2SO_4$ et $K_2Cr_2O_7$) en quantité plus faibles que dans la méthode classique (méthode au titrage). Il suffit d'ajouter l'échantillon (2 ml), mélanger, fermer hermétiquement et porter les échantillons et les témoins à 148°C dans le bloc chauffant (Minéraliser) pendant deux heures.

**Une étape de mesure** : le contenu du tube refroidi est transvasé dans une cellule de mesure et le résultat en $mgO_2/l$, est obtenu par la lecture directe au photomètre à une longueur d'onde de 600 nm. Le témoin sert à régler le 0 de DCO.

La figure 2.8 illustre le dispositif expérimental de mesure de la DCO




**Figure 2.8 : a) Minéralisateur b) Photomètre palintest.**

La concentration de la demande chimique en oxygène est exprimée en mg $O_2$ /l selon l'équation suivante :

**C=A*F Eq. (3)**

Où C : concentration de la demande chimique en oxygène dans l'échantillon (mg $O_2$/l) ;

A : concentration de la demande chimique en oxygène dans la solution dosée (mg $O_2$ /l)

F : facteur de dilution si nécessaire

### II.2.4.2.4. Demande biochimique en oxygène ($DBO_5$)

La demande biochimique en oxygène a été déterminée par la méthode manométrique (Rodier, 2009). Le matériel et les produits nécessaires sont représentés à la figure 2.9 qui comprend notamment : bouteilles DBO munies de têtes Oxitop, agitateur inductif, fioles jaugées**.**

**Mode opératoire**

Introduire un volume V correspondant à la gamme d'estimation de la $DBO_5$ par rapport à la DCO du même échantillon dans un flacon brun en verre contenant un barreau magnétique. Placer un godet en caoutchouc contenant deux pastilles de soude caustique (NaOH), servant à absorber le $CO_2$ produit lors de la consommation de l'oxygène. Visser la tête OxiTop directement sur le flacon. L'OxiTop mémorise automatiquement une valeur toutes les 24 heures durant 5jours.



**Figure 2.9 : Dispositif expérimental de mesure de la $DBO_5$**

**Expression des résultats**

La demande biochimique en oxygène en 5 jours ($DBO_5$) s'exprime en mg $O_2$/l et s'obtient par la multiplication de la valeur affichée par OxiTop après 5jours d'incubation par le facteur correspondant au volume échantillonné qui est donné par la gamme de mesure.

La valeur réelle est calculée comme suit :

$DBO_5$ (mg $O_2$/l) =valeur lue*facteur  Eq. (4)

### II.2.4.2.5. Détermination de l'azote ammoniacal (N-$NH_4$) (Rodier, 2009)

**Principe**

La détermination de l'azote ammoniacal est basée sur la méthode de Nessler. Le réactif de Nessler (tétraiodomercurate de potassium) réagit avec l'ammonium en milieu alcalin en formant une coloration brun- orangé. L'intensité de la coloration produite est proportionnelle à la concentration de l'ion ammonium dans l'échantillon.

**Mode opératoire**

Dans un tube contenant les réactifs palintest pour l'ammonium, on introduit 1ml de l'échantillon à l'aide d'une pipette, on ajoute 0,5 ml du réactif de Nessler et on agite pendant 3 minutes pour homogénéiser. On repose une minute, une coloration bleue se développe. On procède de la même manière pour le témoin.

On effectue la mesure à l'aide d'un photomètre à 420nm, qui donne les résultats en mg/l N. On multiplie par 1,3 pour convertir les résultats obtenus en azote ammoniacal (N-$NH_4$).

### II.2.4.2.6. Détermination des nitrates (Rodier, 2009)

**Principe**

En milieu acide, les nitrates donnent en présence de salicylate du Paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique. L'intensité de la couleur produite lors de l'essai est proportionnelle à la concentration en nitrates et est mesurée par un photomètre.

**Mode opératoire**

Introduire 10 ml d'échantillon dans une capsule de 60ml. Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium (quelques gouttes). Attendre 5 min puis évaporer à sec au bain-marie ou dans une étuve portée à $75^0$C (ne pas surchauffer ni chauffer trop longtemps). Ajouter 1ml de solution de salicylate de sodium, mélanger puis évaporer. Laisser refroidir.

Reprendre le résidu par 1 ml d'acide sulfurique concentré ayant soin de l'humecter complètement. Attendre 10min, ajouter 15ml d'eau ionisée puis 10ml de solution d'hydroxyde de sodium qui développe la couleur jaune. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 415nm.

**Expression des résultats**

Pour une prise d'essai de10 ml, la courbe donne directement la teneur en azote nitrique ($N\text{-}NO_3$) exprimée en mg/l d'eau. Pour obtenir la teneur en nitrate ($NO_3$), multiplier ce résultat par 4, 43.

### II.2.4.2.7. Détermination des phosphates (Rodier, 2009)

**Principe**

En milieu acide et en présence de molybdate d'ammonium, les phosphates forment un complexe phosphomolybdique qui, réduit par l'acide ascorbique, développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique. Certaines formes organiques pouvant être hydrolysées au cours de l'établissement de la coloration et donner des phosphates, le développement de la coloration est accéléré par l'utilisation d'un catalyseur, l'émétique, tartrate double d'antimoine et de potassium.

**Mode opératoire**

Introduire dans chaque fiole 20 ml d'échantillon, puis 1ml de solution d'acide ascorbique, agiter et enfin ajouter 4ml de réactif combiné, mélanger soigneusement, compléter éventuellement le volume à 25ml. Attendre 30min la stabilisation de la coloration. Effectuer les lectures au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 700 nm en cuve de 1cm.

# CHAPITRE III : PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION

Le présent chapitre des résultats est subdivisé en trois parties à savoir les enjeux de la vidange mécanique des boues, la quantification des boues dépotées à la station d'épuration et celles produites en ville de Bujumbura ainsi que les caractéristiques des boues de vidange. A chaque fois, sont présentés les résultats suivis directement de leur interprétation.

## III.1. Les enjeux de la gestion des boues de vidange

La filière de l'ANC comporte diverses composantes telles que la production, la collecte, le transport, le traitement/valorisation. Dans la ville de Bujumbura, la gestion des boues de vidange représente le parent pauvre de l'assainissement urbain. Des solutions techniquement et financièrement efficientes restent encore à développer. Au cours de l'enquête, on a pu relever quelques enjeux liés à la gestion des BV. Il s'agit notamment des enjeux organisationnels, environnementaux, sanitaires, techniques et financiers.

### III.1.1. Enjeux organisationnels et financiers

Dans la filière de gestion des BV (GBV), l'aspect organisationnel des différents acteurs est une partie intégrante et non négligeable de cette filière. En ville de Bujumbura, trois principaux acteurs interviennent dans la gestion des BV comme cela avait été déjà signalé plus haut. Il s'agit des ménages, entreprises de vidange et l'autorité publique. Tous ces intervenants sont liés par des interactions financières. Ces intervenants ou parties prenantes donnent ou reçoivent de l'argent en échange de la réalisation d'un ou plusieurs services dans la filière de GBV.

Parmi les principales causes de défaillance de la filière GBV se trouvent une distribution floue et un chevauchement des responsabilités ainsi que le manque des mesures incitatives pour une gestion efficace. A Bujumbura, la situation de défaillance se retrouve au niveau du cadre institutionnel, législatif et réglementaire incomplet. Ce qui engendre une mauvaise gestion dans la chaîne de responsabilité. A part les agents de l'OBUHA qui enregistrent les camions vidangeurs des boues qui arrivent à la STEP de Buterere, l'autorité publique est mal structurée. La STEP de Buterere qui est le point final de la GBV ne possède pas des opérateurs publics d'entretien de la station et de traitement des boues de vidange ou de curage. Ci-dessous à la figure 3.1 est montrée la GBV actuellement en vigueur à Bujumbura.

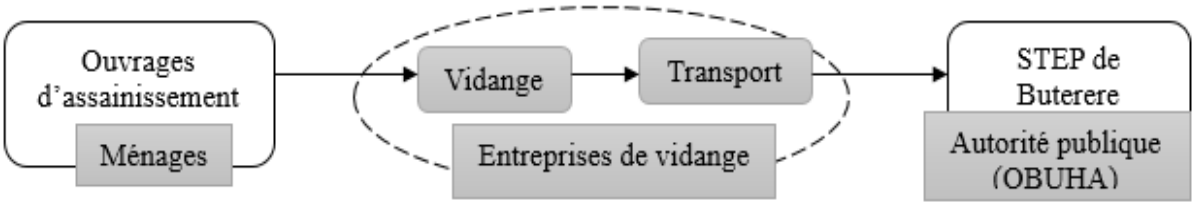



**Figure 3.1 : Organisation actuelle de la GBV dans la ville de Bujumbura**

Comme cela apparait sur la Figure 3.1, la GBV est en grande partie laissée aux seuls deux parties prenantes qui sont les ménages et les entreprises de vidange. En effet, les ménages ont la responsabilité de décider quel type d'ouvrage faut- il installer. Quand faut-il vidanger (généralement quand la fosse commence à manifester des dysfonctionnements parce qu'elle est pleine), quelle entreprise de vidange faut-il contacter pour effectuer la vidange. Une fois l'entreprise contactée, commencent les négociations entre le ménage et l'entreprise pour se convenir sur le prix à payer pour cette opération.

Dans la GBV, une autre partie prenante, OBUHA, intervient en fin de chaîne, pour disponibiliser le site de dépotage des boues vidangées moyennant paiement d'une taxe de dépotage. Il convient de signaler que les boues sont reçues à ce site indépendamment de leur provenance et de leurs caractéristiques, étant donné qu'il n y'a aucun contrôle qui se fait à l'entrée. Ceci peut, sans doute compromettre le bon fonctionnement de la station d'épuration de Buterere surtout que ce n'est pas toutes les boues qui sont susceptibles d'être traitées dans cette station de type lagunage.

Afin de mieux comprendre les enjeux organisationnels et financiers autour de la vidange des boues, notre propos va se baser sur le prix à payer pour la vidange ainsi que la redevance au dépotage.

**i. Prix de la vidange**

En ville de Bujumbura, le prix de la vidange d'une fosse varie en fonction du volume de la citerne, de la distance entre le ménage et le site de dépotage et de la limite fixée par les entreprises de vidange. Le prix de la vidange varie entre 60 000 et 120 000 Fr Bu respectivement pour un camion de capacité 4 $m^3$ et 8 $m^3$ dans la zone délimitée par les rivières Gikoma au nord de la ville et Kanyosha au sud de la ville, soit 15 mille Fbu par $m^3$ vidangé. Dépasser cette limite, les prix sont négociés individuellement sans aucune autre règle. Ce prix de vidange est supporté entièrement par le ménage demandeur de service. Cependant, cette tarification ne favorise pas une collecte optimale des BV, car les résultats de l'enquête et la quantification des boues ainsi que les entretiens menés prouvent à suffisance que toutes les boues produites en ville de Bujumbura n'arrivent pas au site de dépotage connu.

Les ménages des quartiers de bas standing ainsi que ceux se trouvant en dehors de la zone délimitée par les entreprises de vidange ne font pas souvent appel à ces entreprises de vidange. Comme alternative, les ménages se trouvant dans les catégories précédemment citées recourraient au dépotage illégal pendant la nuit ou lors des averses pluvieuses. Ils contribuent malheureusement à la pollution des rivières et cours d'eau avec des impacts sur l'écosystème du lac Tanganyika en particulier et sur la santé humaine en général. La politique de subvention et de réglementation du prix de vidange s'avèrerait nécessaire pour inciter les ménages à faire une vidange par des voies légales.

**ii. Redevance au dépotage**

La redevance au dépotage représente les frais payés par les entreprises de vidange en échange de l'autorisation de dépoter les boues de vidange dans une station de traitement. Dans le contexte de la ville de Bujumbura, la redevance au dépotage est perçue par l'OBUHA et est calculée sur chaque mètre cube dépoté à la station. Pour un mètre cube dépoté, 3200 francs Burundais sont versés sur le compte de l'OBUHA. Cette taxe payée par les entreprises contribue sans doute à faire monter le prix de la vidange. Il faut noter que les boues de vidange, si des mesures de leur bonne gestion sont prises, constituent une matière valorisable comme amendement agricole, ce qui pourraient contribuer à baisser et le prix pour la vidange et la taxe à payer pour le dépotage par la vente de produit issu de la valorisation de ces boues.

### III.1.2. Enjeux techniques

Les enjeux techniques à considérer se situent à plusieurs niveaux. On citera ceux au niveau des ménages, au niveau des entreprises de vidange et ceux au niveau des pouvoirs publics

**i. Au niveau des ménages**

A ce niveau les principaux enjeux concernent :

- **L'emplacement des fosses :** dans certains ménages, les ouvrages se trouvent derrière les maisons ce qui exige de disposer de tuyaux longs pour pouvoir atteindre ces ouvrages et avec des pertes de puissance de pompage qui s'observent dans ce cas-là. La figure 3.2 constitue un cas illustratif où on a des cas de fosses se trouvant derrières les maisons d'habitation obligeant les vidangeurs à chercher des tuyaux très longs ou carrément faire un trou dans le mur de la clôture pour accéder à l'ouvrage à vidanger.




**Figure 3.2 : (a) Difficulté de vidange d'une fosse placée derrière la parcelle en zone Cibitoke, (b) et (c) trou fait dans un mur de la clôture pour faciliter l'opération de vidange en Zone Kinama**

**- Conception de la fosse** : certains ménages ont des fosses ne comportant pas de regards d'accès permettant une vidange sans devoir démolir le béton. Ce problème conduit à l'allongement du temps de vidange une fois que la fosse n'est pas préparée avant l'arrivée du camion.

**- Entretien de la fosse :** les installations d'assainissement liquide diffèrent de celles de la gestion de déchets solides. Lors de la vidange, dans certaines fosses, on y trouvait des objets solides qui bouchent les tuyaux d'aspiration des boues, ce qui perturbe l'opération de vidange, voire la rendre impossible**.** Une sensibilisation ou des séances de formation à l'égard de la population sur la manière d'utilisation de la fosse et sur le type d'objets admis dans la fosse est nécessaire. Un ouvrage d'ANC n'est pas une poubelle (Figure 3.3 a et b), seules les eaux usées domestiques et les serviettes de nettoyage anal réservées à cet effet sont admises dans la fosse.

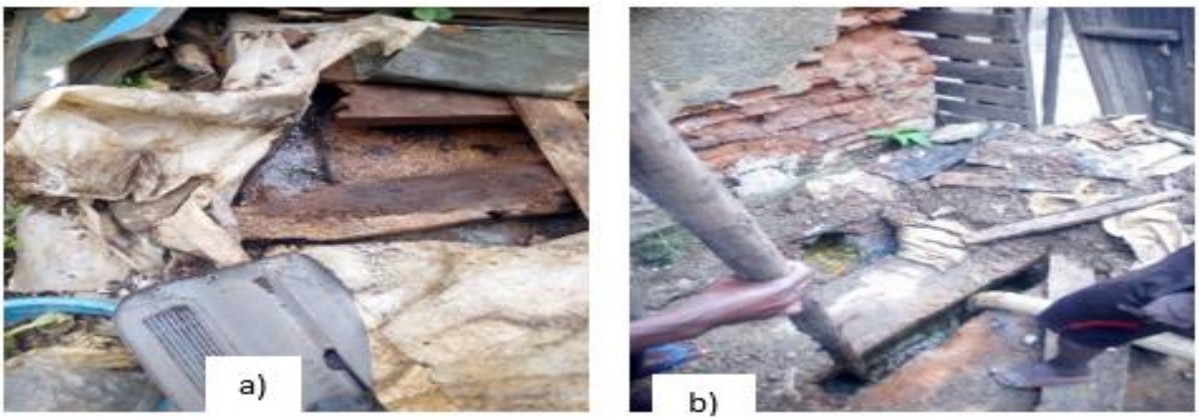



Figure 3.3 : (a) et (b) Fosse de stockage/ prétraitement mal entretenu en zone Buyenzi

- **Accessibilité en voie routière du ménage:** certains ménages en particulier ceux des quartiers informels ou non lotis ne possèdent pas de voies d'accès par voiture, ce qui rend impossible la vidange mécanique (Figure 3.4). Il faut noter qu'en ville de Bujumbura, hormis la vidange mécanique, les autres technologies de vidange conduisent inévitablement à des problèmes d'ordre environnemental et sanitaire du fait que le dépotage des boues se fait clandestinement et que la densité de la ville ne permet de combler la fosse pour creuser une nouvelle comme cela se fait en milieu rural.




**Figure 3.4 : (a) Voie de circulation en pente et accidenté par des roches au quartier Kiriri-Vugizo (b) Voie de circulation étroite et en zigzag au quartier dit "Ceceni" en zone Kanyosha**

**ii. Au niveau des entreprises de vidange**

Les enjeux à considérer ici sont principalement de deux niveaux :

- Les entreprises qui opèrent dans la vidange des boues n'ont pas d'équipements adaptés à toutes les localités de la ville. Normalement, il devrait y avoir des engins de petite largeur capable de circuler dans des ruelles étroites non carrossables afin d'optimiser la collecte des boues produites ;

- Les camions vidangeurs en activité sont presque amortis. Ils tombent souvent en panne et la couverture en vidange diminue et surtout pendant la saison pluvieuse quand la demande du service de vidange est forte. Étant donné que les ménages demandent le service de vidange quand la fosse est déjà pleine, ceci constitue un danger sanitaire et diminue le confort de l'habitat si la vidange n'intervient pas immédiatement dès que le ménage en fait la demande. La solution est d'inciter ces entreprises à investir dans les nouveaux équipements de vidange.

### iii. Au niveau du pouvoir public

Au cours de notre enquête-routage des camions vidangeurs, deux enjeux de la GBV se sont révélés comme étant du ressort de la responsabilité directe des pouvoirs publics et influenceraient d'une façon ou d'une autre les performances de l'ANC et plus particulièrement de la GBV. Il s'agit de :

- La naissance des quartiers dits spontanés sans viabilisation ce qui impacte négativement sur le maillon intermédiaire de l'ANC (la vidange de boues et leur transport) ;
- Manque d'une entité chargée de coordonner et de réguler la gestion de l'ANC à tous les niveaux : implantation des ouvrages au niveau des ménages, vidange et fixation des coûts de la vidange sans l'aménagement des sites de dépotage. Comme cela avait déjà été précisé plus haut, un seul site de dépotage pour toute la ville cause des problèmes du point de vu abordabilité des coûts de vidange et plus tard place disponible pour le dépotage étant donné que la ville s'agrandit du jour au lendemain.

En appui à ce qui vient d'être développé sur les enjeux techniques, organisationnels et financiers, le tableau 3.1 montre certains des éléments relevés lors du routage des camions vidangeurs. Ces éléments sont en réalité à prendre en considération si on veut s'intéresser à ces enjeux ci-haut développés.

**Tableau 3.1: Résultats relatifs au routage de Camion**

| | |
|---|---|
| Distance moyenne parcourue pour une vidange | 15±4 km |
| Temps moyen de vidange d'une fosse | 22±5mn |
| Temps moyenne de Transport pour une vidange | 45±7 mn |
| Temps mort | 7,5±3 mn |
| Consommation moyenne de Carburant pour une vidange | 5 à 10 L |
| Prix pratiqué par vidange | 60000 à 120000 Fbu |
| Nombre de rotation par jour | 4,3±1,5 |
| Temps de dépotage | 15±3min |
| Site de dépotage | Buterere |

Comme cela apparait dans le tableau 3.1, le temps moyen de vidange d'une fosse est supérieur à celui de dépotage.

En effet, pour la vidange d'autres paramètres qui allongent le temps n'existant pas lors du dépotage apparaissent notamment l'emplacement de la fosse et la nature des boues se trouvant dans la fosse (pâteuses versus visqueuses).

Le temps total pour une vidange correspond à la sommation de tous ces temps-ci haut cités.

**Temps moyen de transport d'une vidange :** c'est le temps mis en aller et au retour.

**Temps moyen de vidange d'une fosse :** C'est le temps de la descente de tuyaux dans la fosse, le pompage, le retrait et le nettoyage du lieu de vidange.

**Consommation moyenne de carburant pour une vidange** : C'est le volume de carburant consommé pour la vidange d'une fosse, son transport et son dépotage

**Distance moyenne parcourue pour une vidange :** c'est la distance parcourue en aller et au retour pour une vidange et varie en fonction de la localité où on fait la vidange.

### III.1.3. Enjeux sanitaires et environnementaux

Dans la ville de Bujumbura, la quantité de boues susceptibles d'être produites est supérieure à celle qui est dépotée à la STEP de Buterere. Deux principales raisons pourraient expliquer cette différence. Premièrement, il y aurait des boues vidangées manuellement, qui n'arrivent pas au site de dépotage parce qu'elles sont dépotées illégalement dans les caniveaux ou dans les rivières (Figure 3.5). Ces boues sont charriées par les eaux de ruissellement ou infiltrées dans le sol, Ce qui constitue une source de pollution des milieux récepteurs en l'occurrence le lac Tanganyika.

Deuxièmement, il y a certaines latrines traditionnelles qu'on comble pour creuser une autre.

Cette façon de faire présente aussi un danger de pollution de la nappe et surtout dans les localités à sol perméable et nappe d'eau peu profonde ou que ces latrines sont très profondes et non étanche.




**Figure 3.5 : a) Boues déversées dans un canal non entretenu à Carama b) collecteur d'eaux pluviales et des boues de vidange pendant la saison pluviale à Kanyosha.**

### III.2. Provenance des boues de vidange dépotées à la station de Buterere

La station de Buterere reçoit des boues provenant essentiellement de fosses septiques et de quelques latrines traditionnelles, vidangées mécaniquement par des camions vidangeurs de capacités variant entre 2,5 $m^3$ et 10 $m^3$ (Tableau 3.2). Le faible taux de latrines traditionnelles vidangées mécaniquement s'expliquerait par la difficulté de vidanger ces latrines du fait de leur boue plus ou moins solides et donc difficiles à pomper mais aussi des moyens limités des ménages faisant recours aux latrines traditionnelles à payer le coût de la vidange.

**Tableau 3.2 : Capacité des camions vidangeurs œuvrant en ville de Bujumbura**

| Nom de l'entreprise | Nombre de camion vidangeurs | Capacité (en $m^3$) | coût vidangé / $m^3$ en Frs bu |
|---|---|---|---|
| OBUHA | 2 | 3,7 et 7 | 12850 |
| MERCUS | 3 | 3,7;5,5 et 10 | 15000 |
| MBASHA | 3 | 3,7; 7 et 9,5 | 15000 |
| KASIM | 2 | 7 et 6 | 15000 |
| KARIKURUBU | 1 | 3,7 | 15000 |
| SEE | 2 | 2,5 et 7,5 | 15000 |
| SALAMA | 1 | 7 | 15000 |
| UNOPS | 1 | 4 | 15000 |

Le tableau 3.2 ci-dessus nous montre que le coût de la vidange par $m^3$ est de 12850Frs bu pour les camions vidangeurs de l'OBUHA (société publique), prix inférieur à celui des sociétés privées qui sont 15000Frs bu par $m^3$. Normalement pour un même service offert, si la réglementation était de rigueur on devrait avoir les mêmes prix.

### III.3. Quantification des boues produites en ville de Bujumbura

Les résultats relatifs aux quantités des boues de vidange dépotées à la station d'épuration de Buterere et celles liées aux quantités des boues attendues dans la ville de Bujumbura sont présentés dans les tableaux et représentés par les figures qui suivent. Ces résultats permettront notamment de faire l'état de la question sur la gestion des BV et surtout orienter les actions à mener pour une bonne gestion des boues de vidange produites dans la ville de Bujumbura.

### III.3.1. Quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere

**Tableau 3.3 : Quantité de boues dépotées à la STEP de Buterere en 2018**

| Qté vidangée/zone en $m^3$ /mois | Buterere | Buyenzi | Bwiza | Cibitoke | Gihosha | Kamenge | kanyosha | Kinindo | Musaga | Q industriel | Reste de la zone | Rohero | Q Carama | Reste de la Zone |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Janvier | 62,2 | 150,3 | 63,1 | 152,1 | 230 | 900,9 | 86,6 | 103,3 | 85,4 | 108 | 77,5 | | 381,4 | 174 |
| Février | 69,7 | 158,5 | 37,2 | 65,2 | 174,1 | 768,9 | 54,1 | 86,7 | 35,4 | 68 | 94,8 | 79,3 | 257,7 | 157 |
| Mars | 74,8 | 175,1 | 75,6 | 131,4 | 218,2 | 621 | 149,7 | 73,4 | 75,7 | 114 | 94,4 | 65,3 | 399,7 | 117 |
| Avril | 76,3 | 131,7 | 48,5 | 134,9 | 154,7 | 660,7 | 104,9 | 96,3 | 36,4 | 102 | 75,6 | 98,9 | 277,1 | 159 |
| Mai | 66,4 | 125,1 | 119,3 | 164,9 | 193,2 | 631,6 | 91,9 | 39 | 45,4 | 152 | 132 | 86,3 | 249,1 | 137 |
| Juin | 59 | 156,1 | 27,4 | 121,4 | 177 | 493,1 | 126 | 28,4 | 44,1 | 100 | 104 | 30 | 289,4 | 173 |
| Juillet | 56 | 189,1 | 71,8 | 156 | 91 | 527,4 | 94,4 | 23,5 | 61,1 | 92 | 68,4 | 33,3 | 193 | 183 |
| Août | 80,8 | 162,2 | 48,1 | 107,7 | 127,3 | 478,9 | 57,2 | 60,2 | 76,5 | 96 | 106 | 20,3 | 348,1 | 155 |
| Septembre | 71,3 | 129,3 | 34,3 | 141,4 | 171,5 | 606,9 | 91,5 | 79,1 | 142,4 | 60 | 50,4 | 61,2 | 320,9 | 158 |
| Octobre | 55,3 | 156,2 | 37,3 | 104,5 | 157,3 | 620,2 | 86,2 | 116,6 | 50,6 | 50 | 68 | 73 | 345,6 | 163 |
| Novembre | 53,2 | 163,2 | 26,1 | 169,7 | 166,9 | 729,3 | 94,1 | 82,1 | 70,7 | 40 | 65,7 | 69,6 | 309,9 | 198 |
| Décembre | 85,8 | 122,7 | 82,9 | 183,5 | 149,3 | 878 | 111,6 | 95,3 | 40,4 | 63 | 65,5 | 89,3 | 327,9 | 203 |
| Total sur 12 mois | 810,8 | 1820 | 671,6 | 1632,7 | 2010,5 | 7916,9 | 1148,2 | 883,9 | 764,1 | 1045 | 1002 | 797,6 | 3700 | 1977 |
| Total annuel | **26180** | | | | | | | | | | | | | |
| Moyenne /mois | 67,56 | 151,6 | 55,97 | 136,06 | 167,5 | 659,7 | 95,7 | 73,66 | 63,68 | 85,3 | 175 | 76,47 | 306,23 | 163 |
| Population/Zone | 62543 | 69575 | 83371 | 124536 | 65827 | 113980 | 124926 | 42101 | 69920 | 44549 | | 20792 | 109479 | |
| | | | | | | | | | | Ngagara | | | Kinanama | |

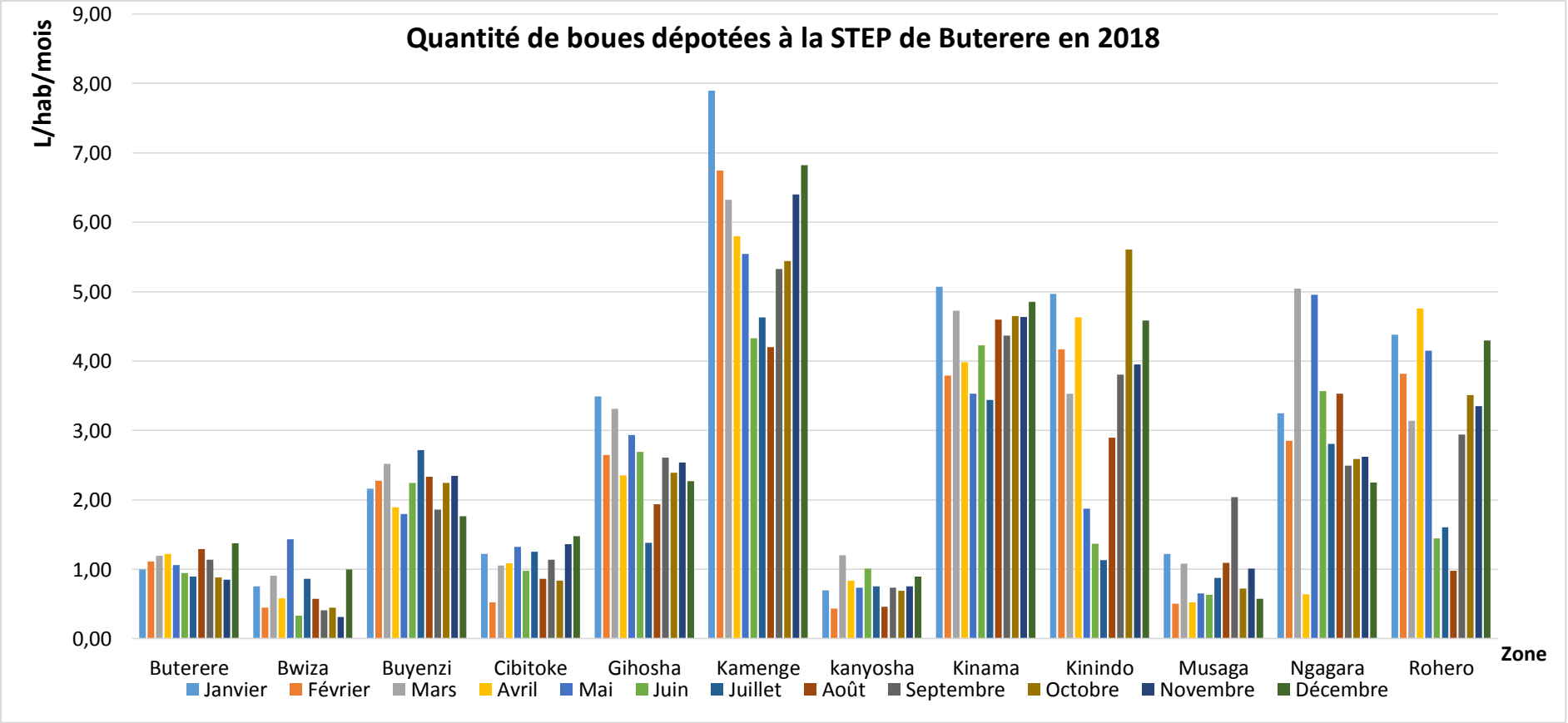



**Figure 3.6 : Quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere en 2018**

**Tableau 3.4 : Quantité de boues dépotées à la STEP de Buterere en 2019**

| Qté vidangée/Zone en $m^3$ | Buterere | Buyenzi | Bwiza | Cibitoke | Gihosha | Kamenge | kanyosha | Kinindo | Musaga | Q.industriel | Reste de la zone | Rohero | Q Carama | Reste de la Zone |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Janvier | 87,7 | 150,1 | 70,6 | 155,3 | 211,5 | 800,8 | 177,6 | 128,1 | 69,9 | 40 | 43 | 58,2 | 333 | 260 |
| Février | 92,6 | 163,3 | 40,6 | 146,3 | 162,5 | 698,2 | 158,8 | 123,1 | 81,4 | 56 | 67 | 63,78 | 323 | 230 |
| Mars | 84,1 | 142,3 | 59,6 | 179,3 | 151,5 | 779 | 192,2 | 125 | 64,9 | 72 | 11 | 32,7 | 295 | 208 |
| Avril | 102,1 | 128,9 | 73,6 | 143,3 | 181,5 | 822,3 | 220,3 | 113,1 | 75,9 | 40 | 87 | 90,7 | 333 | 187 |
| Mai | 74,4 | 148,1 | 46,6 | 131,2 | 136,7 | 742,3 | 140,8 | 108,1 | 59,9 | 58 | 53 | 34,2 | 330 | 215 |
| Juin | 69,1 | 127,3 | 55,6 | 113,5 | 144 | 685,1 | 153,3 | 93,1 | 39,9 | 60 | 67 | 38,2 | 394 | 201 |
| Juillet | 55,1 | 141,8 | 42,2 | 164,5 | 129,3 | 839,3 | 131,2 | 87,9 | 26,5 | 36 | 63 | 43,2 | 372 | 216 |
| Août | 76,7 | 116,2 | 39,6 | 126,2 | 136,7 | 763,3 | 158,8 | 103,1 | 41,9 | 52 | 9,7 | 48,2 | 332 | 192 |
| Septembre | 94,1 | 121,1 | 49,6 | 142,8 | 148 | 706,3 | 197,3 | 113,1 | 57,4 | 76 | 43 | 62,2 | 317 | 204 |
| Octobre | 102,1 | 128,5 | 66,7 | 167,3 | 175,5 | 729,2 | 154,9 | 98,1 | 88,4 | 40 | 62 | 77,7 | 311 | 193 |
| Novembre | 112,7 | 151,1 | 54,6 | 134,9 | 140,4 | 657,2 | 162,5 | 137,1 | 65 | 54 | 66 | 80,7 | 351 | 242 |
| Décembre | 88,8 | 145,3 | 86,2 | 180,3 | 174 | 770,1 | 194,8 | 149,1 | 71,9 | 34 | 65 | 94,2 | 342 | 236 |
| Total sur 12 mois | 1040 | 1664 | 685,5 | 1785 | 1892 | 8993 | 2042,5 | 784 | 743 | 618 | 637 | 724 | 4033 | 2584 |
| Total annuel | **28820** | | | | | | | | | | | | | |
| Moyenne/mois | 86,63 | 138,66 | 57,12 | 148,74 | 157,63 | 749,42 | 170,21 | 65,34 | 61,91 | 51,6 | 53 | 60 | 336 | 155 |
| population par zone | 67687 | 72303 | 90261 | 136192 | 69275 | 123753 | 134617 | 44940 | 73279 | 60888 | | 21156 | 118457 | |
| | | | | | | | | | | Ngagara | | | Kinama | |

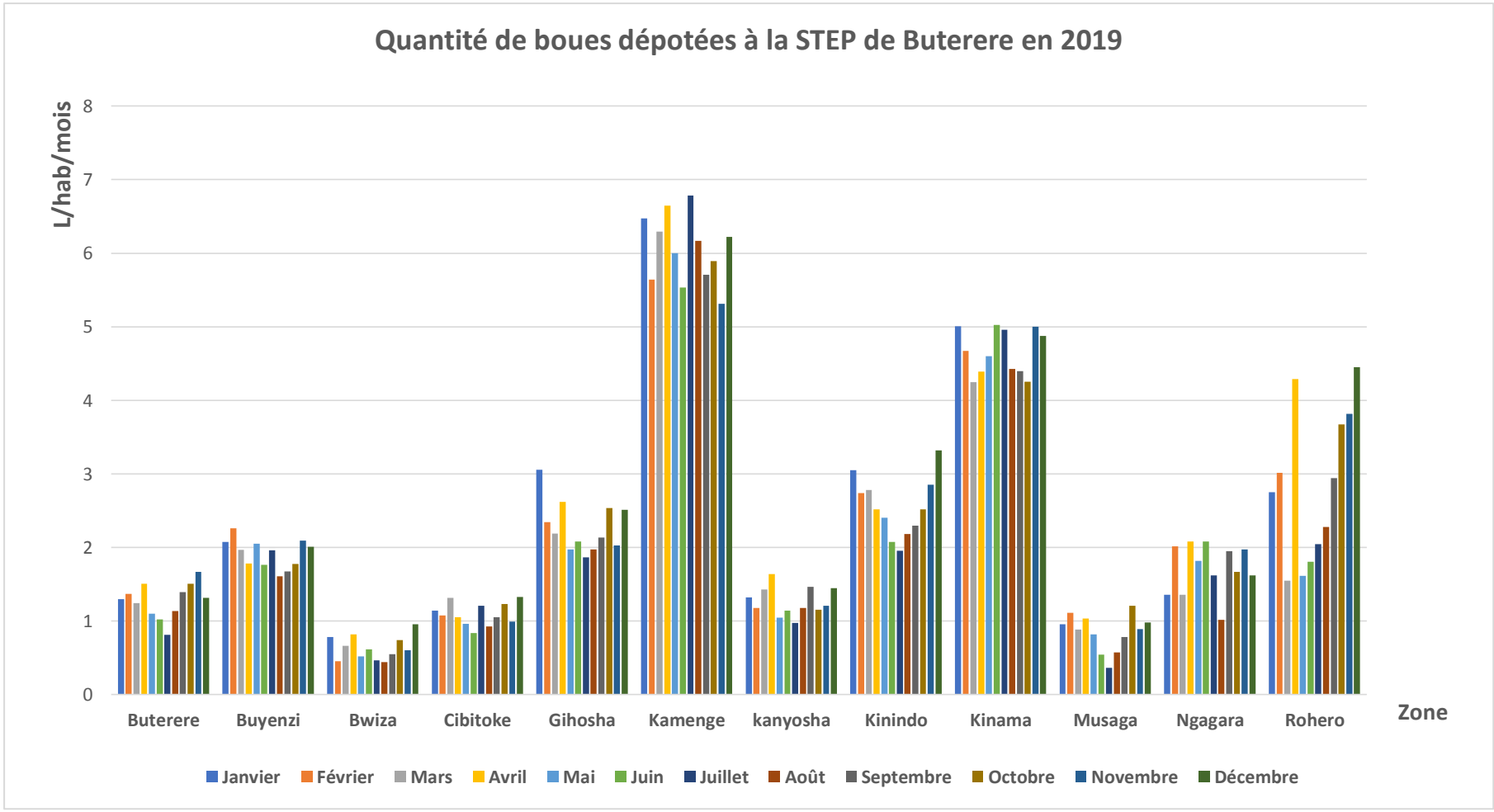



**Figure 3.7 : Quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere en 2019**

**Tableau 3.5 : Quantité de boues dépotéeS à la STEP de Buterere entre janvier-mars 2020**

| **Qté vidagée/Zone en m$^3$** | Buterere | Buyenzi | Bwiza | Cibitoke | Gihosha | Kamenge | Kanyosha | Kinindo | Musaga | Q Industriel | Ngagara | Rohero | Q Carama | Reste de la zone |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Janvier** | 216 | 219,6 | 59 | 247,5 | 180 | 760,6 | 248,6 | 137 | 80 | 84 | 116 | 126,7 | 329,3 | 227 |
| **Février** | 187,8 | 156,6 | 59,2 | 225,2 | 158,7 | 570,2 | 195,6 | 115 | 74 | 68 | 109 | 105 | 211,3 | 196 |
| **Mars** | 176,8 | 182,6 | 59,2 | 208 | 126,1 | 621,8 | 208,6 | 118,7 | 65 | 120 | 40,8 | 108,7 | 303,2 | 200 |
| **total sur 3 mois** | 508 | 559 | 59 | 680,8 | 464,9 | 1952,6 | 652,8 | 370,4 | 225 | 272 | 266 | 340,4 | 843,8 | 623 |
| **Total trimestriel** | **7818** | | | | | | | | | | | | | |
| **Moyenne /mois** | 193 | 186 | 52 | 227 | 155 | 650,86 | 217 | 123 | 75 | 91 | 88 | 113,5 | 281 | 208 |
| **population/zone** | 73255 | 75131 | 97719 | 144850 | 72905 | 134363 | 145059 | 47971 | 76799 | 48120 | | 14953 | 81956 | |
| | | | | | | | | | | **Ngagara** | | | **Kinama** | |

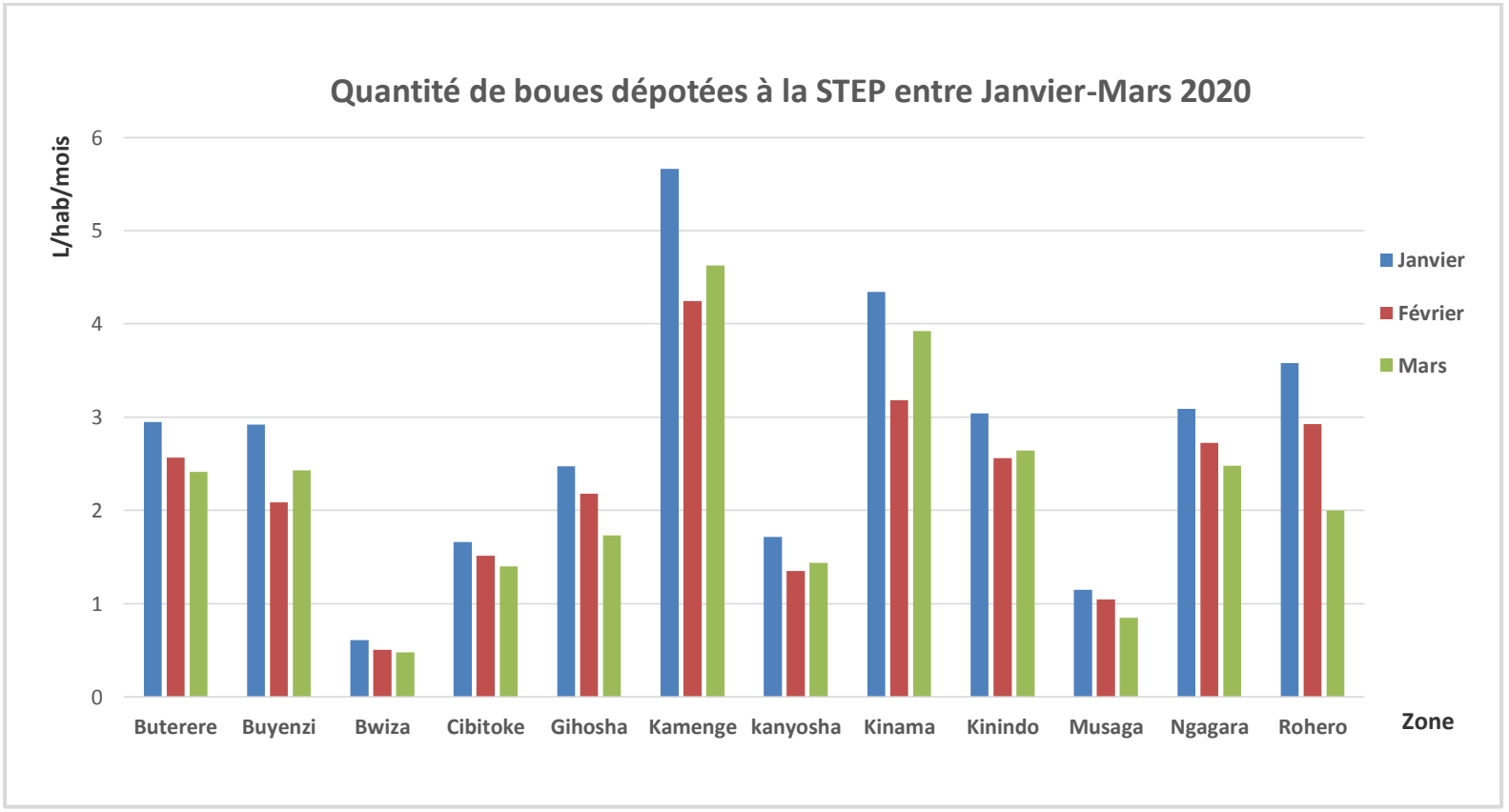



**Figure 3.8. : Quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere en 2020**

Les tableaux (3.3) ; (3.4) ; (3.5) et les figures (3.6) ; (3.7) et (3.8) présentent les quantités de BV dépotées à la STEP de Buterere dans les trois années (2018,2019 et 2020 en provenance de chaque zone de la ville de Bujumbura. Pour une même année considérée, on remarque d'une part que les quantités varient d'une zone à une autre et d'autre part que les quantités varient en fonction des saisons (saison pluvieuse versus saison sèche). En effet, il est à remarquer que les zones de Buterere, Bwiza, Cibitoke, Kanyosha et Musaga se caractérisent par une faible quantité des boues (L/Hab./mois) qui arrivent au site de dépotage comparativement aux autres zones. La compréhension de ce phénomène nécessite d'abord de situer chaque zone dans son contexte.

Pour les zones de Kanyosha et Musaga, la faible quantité des boues enregistrée s'expliquerait par l'éloignement par rapport au site de dépotage et par conséquent le tarif de vidange élevé par rapport aux autres zones. Les entreprises de vidange préfèrent vidanger les zones proches du site de dépotage au détriment des zones ci-haut mentionnées.

Pour ce qui est de la zone de Buterere, il s'agit d'une zone semi urbaine constituée majoritairement de la catégorie sociale du bas standing, ne disposant pas donc de moyens suffisants pour se payer une vidange mécanique et de la proportion élevée des latrines traditionnelles par rapport à celle des fosses septiques (Tableau 1.4).De plus, les ménages de la zone Buterere considèrent par ailleurs que les tarifs de vidange qui leur sont appliqués sont élevés compte tenu de la distance entre le site de dépotage et la zone. Ils préfèrent soit creuser une autre fosse en remplacement de la première qui est pleine ou vidanger manuellement et enterrés les boues ou les déposés dans les terrains vides.

Les zones Bwiza et Buyenzi présentent des catégories sociales de bas et moyen standing et sont partiellement raccordées au réseau d'égout. La zone Buyenzi se caractérise par une densité élevée de la population avec en moyennes 8 ménages habitant dans une même concession (Bigumandondera, 2014), une grande proportion des latrines traditionnelles, un espace libre disponible dans la parcelle limitée, à majorité constituée par des gens de la catégorie de bas standing. Buyenzi serait l'une de zones qui courent un risque sanitaire élevé si des mesures de bonne gestion des BV ne sont pas adoptées.

Les zones de Kamenge et Kinama ont des caractéristiques similaires en matière du standing de l'habitat (catégorie sociale du bas standing et du moyen standing) et en matière des systèmes d'assainissement qu'on y rencontre. Cela veut dire que logiquement les mêmes comportements devraient aussi s'observer au niveau de la quantité des boues qui arrivent à la station en provenance de ces zones.

Mais, comme cela se remarque sur les figures (3.6), (3.7) et (3.8), ces quantités ne sont pas les

mêmes. Pour les zones Kinama et Kamenge le taux élevé des BV qui arrivent à la station de dépotage est lié au problème de la présence d'un sol argileux rencontré au quartier Carama (Bigumandondera, 2014) et au quartier Mirango de Kamenge (Hakiza, 2002) occasionnant des fréquences de vidange élevées.

Les zones de Gihosha, Kinindo, Ngagara et Rohero sont dans la même catégorie sociale de moyen et haut standing mais avec des contextes différents tenant compte des boues acheminées à la STEP de Buterere.

Pour le cas de Ngagara qui est connecté à 71% (Niyongabo, 2016), le taux de boues dépotées est élevé comparativement à celles qui devraient être acheminées à la STEP. Cela est dû aux quantités de boues en provenance du quartier industriel (Figures (3.13), (3.14), (3.15)) que le camion du Bureau des Nations unies pour les services d'appui aux projets (UNOPS) vient dépoter à la station. Ce Bureau dispose des fosses septiques dépourvues des puits perdant (pas de possibilité d'infiltration du surnageant de la fosse septique) ce qui fait que toute la quantité d'eaux usées et des boues produites sont acheminées au site de dépotage une fois produite. D'où la fréquence élevée de vidange observée.

Quant à la zone Rohero qui est aussi partiellement connectée à la STEP, la quantité élevée de boues qui y sont vidangées pourrait s'expliquer par les personnes exerçant les activités dans le centre-ville et qui contribuent dans la production des boues pendant la journée mais qui ne font pas partie des résidents de la zone.

La zone de Kinindo utilise les systèmes d'assainissement constitués principalement par les fosses septique (Bigumandondera, 2014). En plus que ces ouvrages soient faciles à vidanger, c'est une zone de la catégorie de haut standing d'où une quantité élevée dépotée.

La zone de Kinindo qui est dans la même situation que celles de Musaga et Kanyosha en ce qui concerne l'éloignement par rapport au site de dépotage, n'a pas des problèmes particuliers au niveau de la vidange mécanique des boues si du moins on s'en tient aux quantités qui arrivent à la station et en la comparant à la zone de Gihosha qui sont dans la même catégorie sociale (catégorie de haut standing).

La zone Gihosha quant à elle, est presque non connectée aux réseaux d'égout. Selon l'entretien mené avec les ménages, la vidange mécanique n'est pas si facile dans certaines localités à cause de l'inaccessibilité de voies liées au talus et à l'étroitesse de la route. Malgré ces contraintes, une quantité non négligeable est dépotée à la STEP en provenance de cette zone.

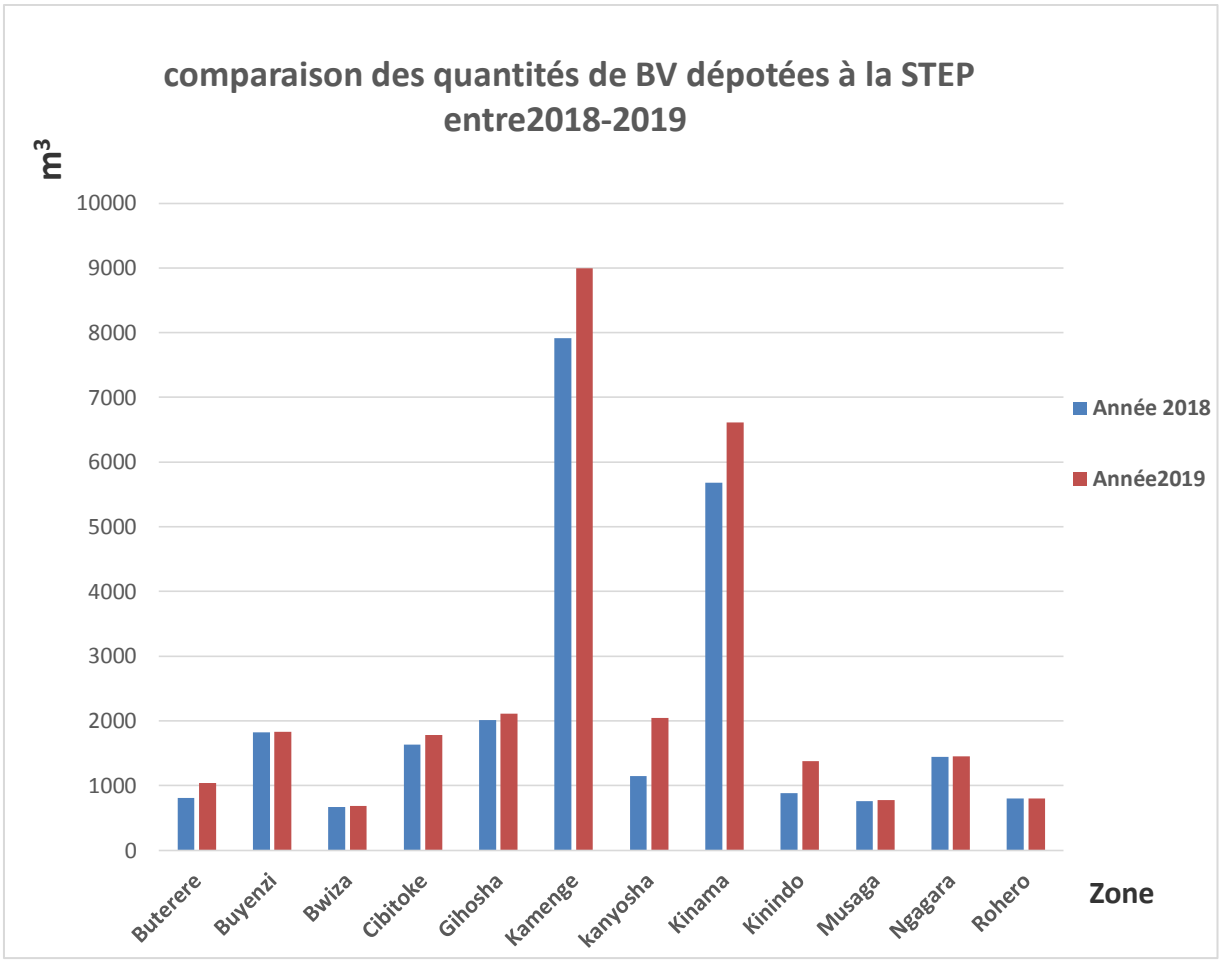
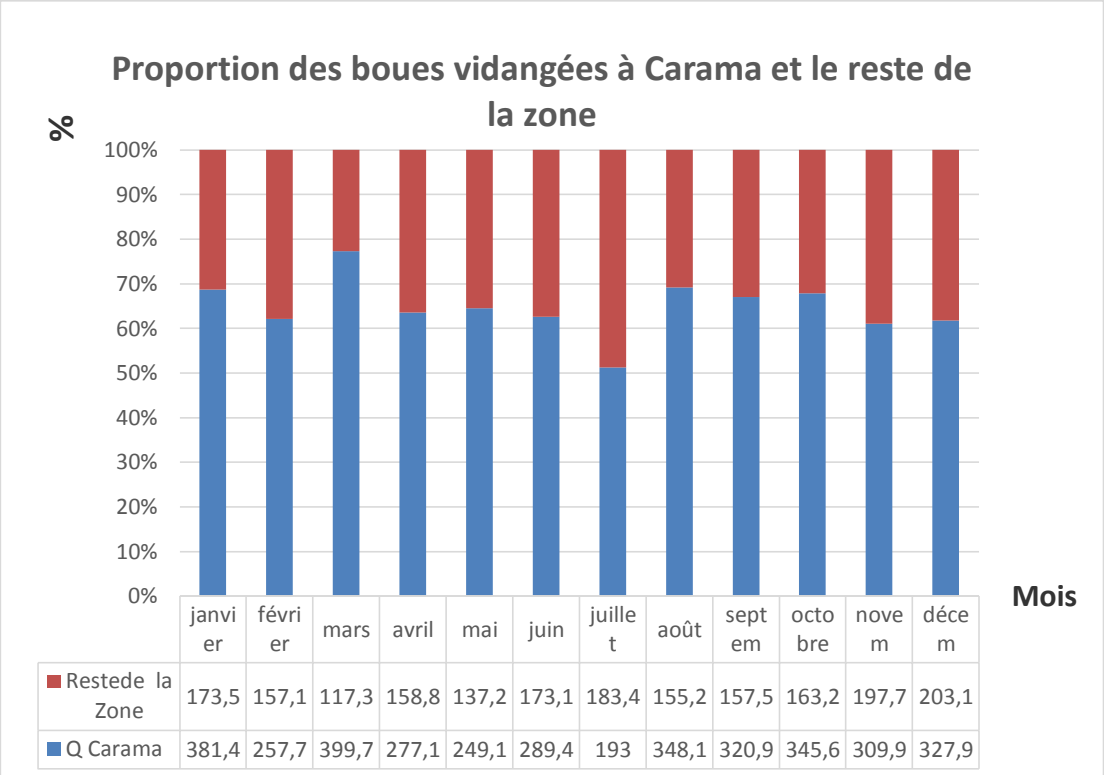


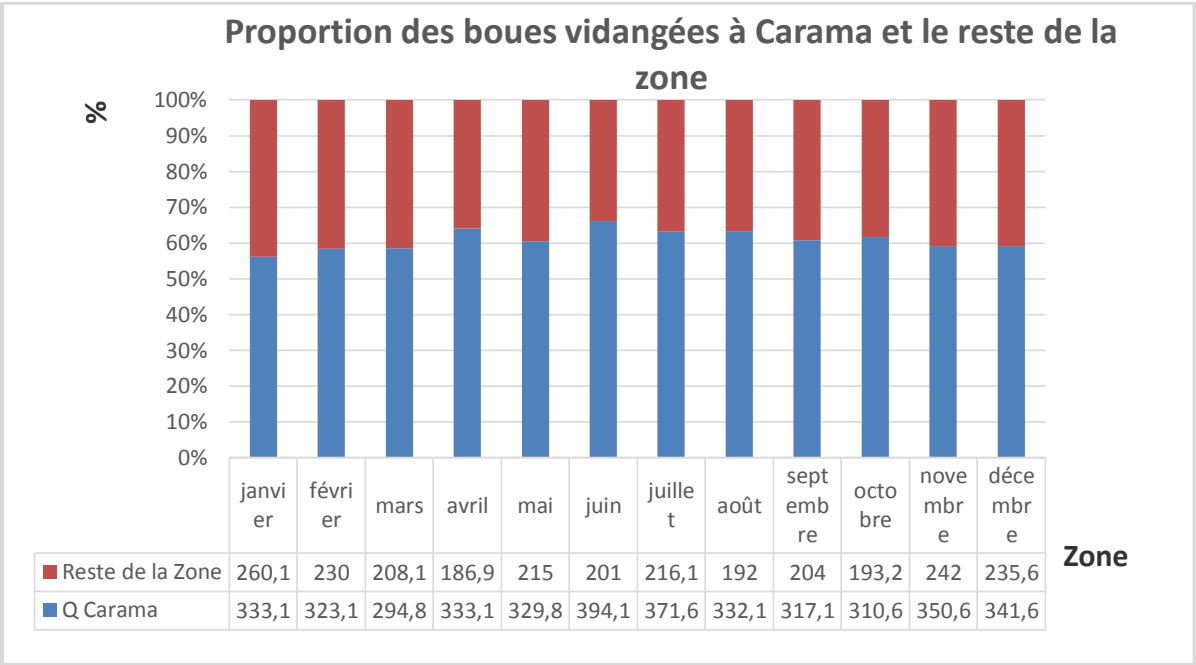

**Figure 3.9 : Comparaison des quantités de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere en 2018 et 2019**

La figure 3.9 présente la quantité des BV dépotées à la STEP de Buterere en 2018 et celle de 2019. On constate d'une manière générale l'évolution de la quantité des BV dans toutes les zones. Elle passe de 26683m$^3$ en 2018 à 26849m$^3$ en 2019. Cette évolution, dans les différentes zones, serait due : (1) à l'expansion de la ville ; (2) à l'augmentation de la population en ville de Bujumbura.




| | janvier | février | mars | avril | mai | juin | juillet | août | septem | octobre | novem | décem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Restede la Zone | 173,5 | 157,1 | 117,3 | 158,8 | 137,2 | 173,1 | 183,4 | 155,2 | 157,5 | 163,2 | 197,7 | 203,1 |
| Q Carama | 381,4 | 257,7 | 399,7 | 277,1 | 249,1 | 289,4 | 193 | 348,1 | 320,9 | 345,6 | 309,9 | 327,9 |

**Figure 3.10 : Boues vidangées en Zone Kinama : proportion entre le quartier Carama et le reste de la Zone Kinama en 2018**




| | janvier | février | mars | avril | mai | juin | juillet | août | septembre | octobre | novembre | décembre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Reste de la Zone | 260,1 | 230 | 208,1 | 186,9 | 215 | 201 | 216,1 | 192 | 204 | 193,2 | 242 | 235,6 |
| Q Carama | 333,1 | 323,1 | 294,8 | 333,1 | 329,8 | 394,1 | 371,6 | 332,1 | 317,1 | 310,6 | 350,6 | 341,6 |

**Figure 3.11 : Boues vidangées en Zone Kinama : proportion entre le quartier Carama et le reste de la Zone Kinama en 2019**

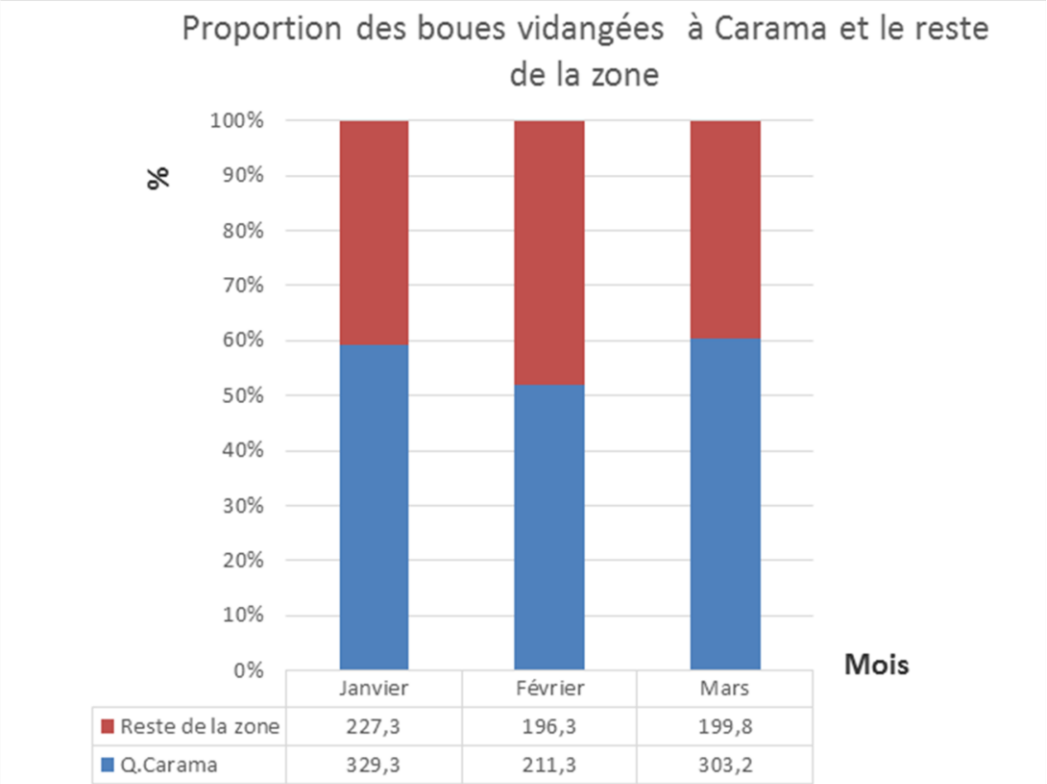
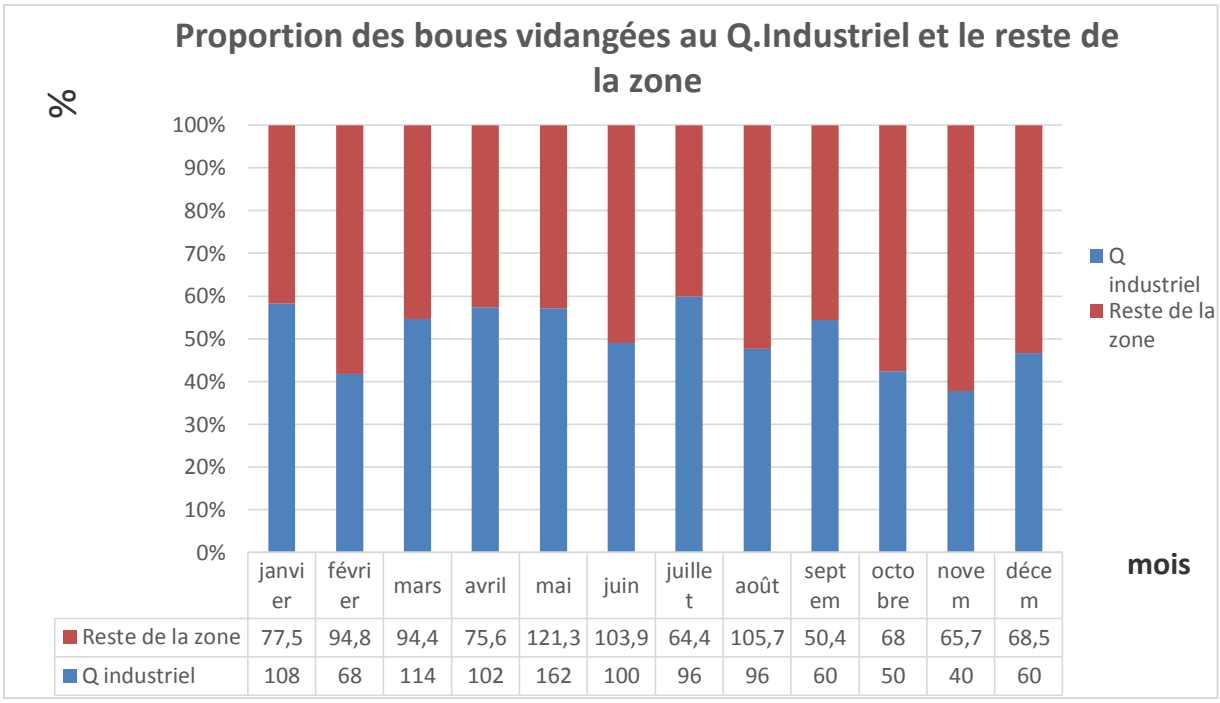


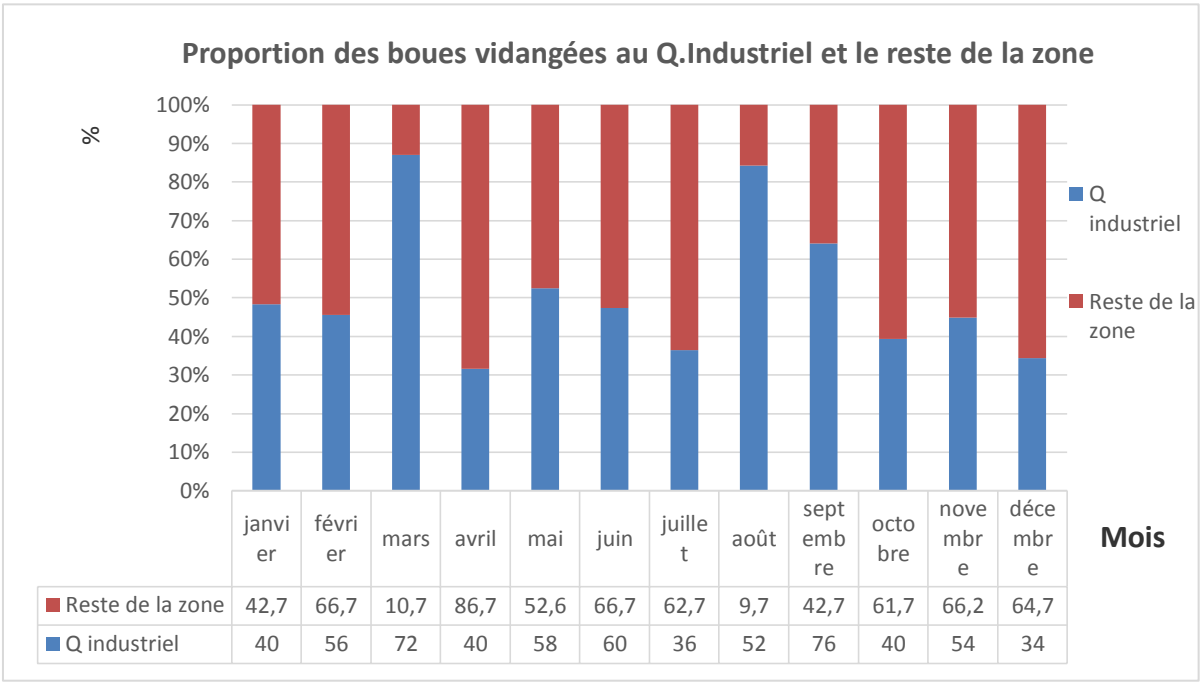

**Figure 3.12 : Boues vidangées en Zone Kinama : proportion entre le quartier Carama et le reste de la zone entre janvier-mars 2020**

Les figures 3.10, 3.11 et 3.12 montrent que les proportions des quantités de BV dépotées à la station d'épuration de Buterere en provenance de Carama sont supérieures à celles provenant du reste de la zone Kinama alors que le quartier Carama est l'un des quartiers qui constituent la zone Kinama avec une population résidente de loin inférieure au reste de la zone. Cela s'explique par le problème de la présence d'un sol argileux rencontré au quartier Carama (Bigumandondera, 2014) qui s'oppose à l'infiltration d'un effluent sortant de la fosse septique provoquant le disfonctionnement de cette dernière et occasionnant ainsi des fréquences de vidange élevées. Cela s'explique aussi par le fait que Carama est un quartier de la catégorie de haut standing d'où une quantité élevée dépotée.




| | janvier | février | mars | avril | mai | juin | juillet | août | septem | octobre | novem | décem |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Reste de la zone | 77,5 | 94,8 | 94,4 | 75,6 | 121,3 | 103,9 | 64,4 | 105,7 | 50,4 | 68 | 65,7 | 68,5 |
| Q industriel | 108 | 68 | 114 | 102 | 162 | 100 | 96 | 96 | 60 | 50 | 40 | 60 |

**Figure 3.13 : Boues vidangées en Zone Ngagara : proportion entre le quartier Industriel et le reste de la Zone Ngagara en 2018.**




| | janvier | février | mars | avril | mai | juin | juillet | août | septembre | octobre | novembre | décembre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Reste de la zone | 42,7 | 66,7 | 10,7 | 86,7 | 52,6 | 66,7 | 62,7 | 9,7 | 42,7 | 61,7 | 66,2 | 64,7 |
| Q industriel | 40 | 56 | 72 | 40 | 58 | 60 | 36 | 52 | 76 | 40 | 54 | 34 |

**Figure 3.14 : Boues vidangées en Zone Ngagara : proportion entre le quartier Industriel et le reste de la Zone Ngagara en 2019**

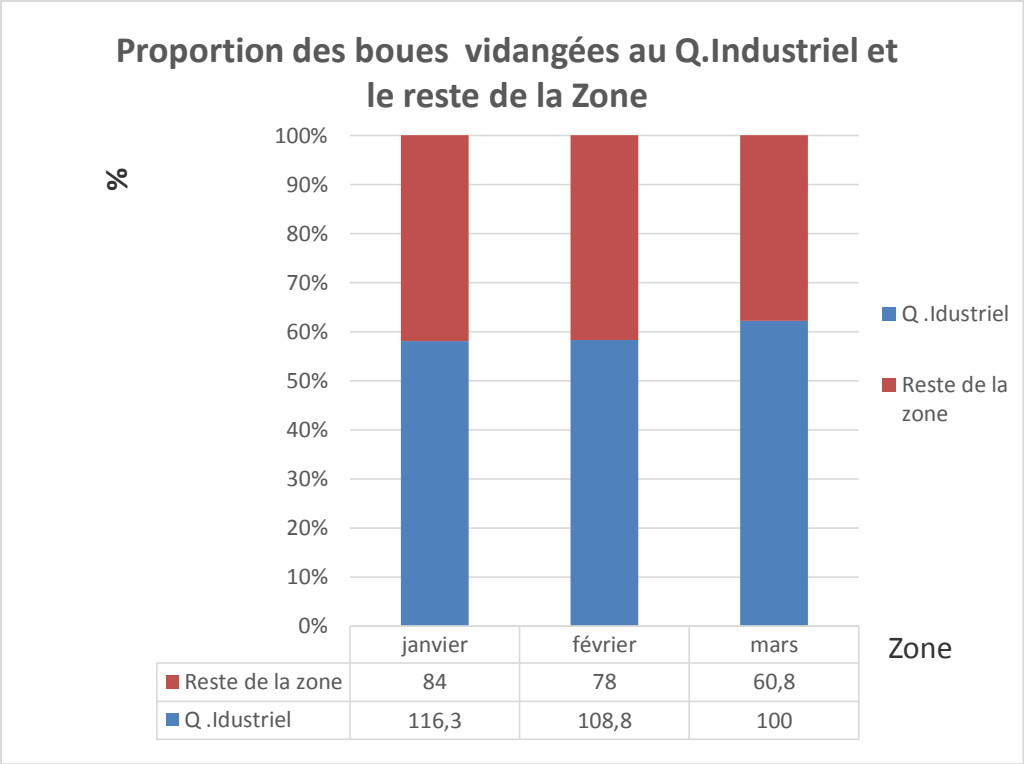



**Figure 3.15 : Boues vidangées en Zone Ngagara : proportion entre le quartier Industriel et le reste de la zone entre janvier-mars 2020**

### III.3.2. Quantité de boues de vidange attendues en ville de Bujumbura

En appliquant la formule $\mathbf{Q = 365 * \left(\frac{PLS * qLT + PFS * qFS}{1000}\right)}$ déjà mentionnée au point (II.2.3.1), on obtient les résultats donnés dans les Tableaux (3.6 , 3.7, 3.8 ) ci-dessous qui montrent les quantités des boues attendues dans la ville de Bujumbura en 2018,2019 et 2020.

Dans ces tableaux, la population équipée des latrines traditionnelles et celle des fosses septiques est trouvée à partir des données du Tableau 1.4 de la revue de la littérature.

**Tableau 3.6 : La quantité des boues attendues dans les zones de la ville de Bujumbura en 2018**

| Zone | Population totale | Nbre de personnes équipées de LT | Nbre de personnes équipées de FS | qLT | qFS | Facteur de conversion | jours | Volume (en $m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BUTERERE | 62543 | 46282 | 3753 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 5465 |
| BUYENZI | 69575 | 50094 | 17394 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 7326 |
| BWIZA | 83371 | 40018 | 13339 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 5794 |
| CIBITOKE | 124536 | 98383 | 22416 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 13146 |
| GIHOSHA | 65827 | 26331 | 36863 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 6785 |
| KAMENGE | 113980 | 95743 | 10258 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 11570 |
| KANYOSHA | 124926 | 89947 | 26234 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 12626 |
| KINAMA | 109479 | 93057 | 15327 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 11812 |
| KININDO | 42101 | 421 | 41680 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 4458 |
| MUSAGA | 69920 | 47546 | 19578 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 7279 |
| NGAGARA | 57145 | 2857 | 10857 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 1462 |
| ROHERO | 20792 | 2911 | 14139 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 1815 |

**Tableau 3.7 : La quantité des boues attendues dans les zones de la ville de Bujumbura en 2019**

| Zone | population totale | Nbre de personnes équipées de LT | Nbre de personnes équipées de LT | qLT | qFS | Facteurs de conversion | jours | Volume ( en $m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BUTERERE | 67687 | 50088 | 4061 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 5915 |
| BUYENZI | 72303 | 52058 | 18076 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 7614 |
| BWIZA | 90261 | 43325 | 14442 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 6273 |
| CIBITOKE | 136192 | 107592 | 24515 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 14376 |
| GIHOSHA | 69275 | 27710 | 38794 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 7141 |
| KAMENGE | 123753 | 103952 | 11138 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 12562 |
| KANYOSHA | 134617 | 96924 | 28270 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 13606 |
| KINAMA | 118457 | 100688 | 16584 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 12781 |
| KININDO | 44940 | 449 | 44491 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 4759 |
| MUSAGA | 73279 | 49830 | 20518 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 7628 |
| NGAGARA | 60888 | 3044 | 11569 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 1558 |
| ROHERO | 21156 | 2962 | 14386 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 1847 |

**Tableau 3.8: La quantité des boues attendues dans les zones de la ville de Bujumbura en 2020**

| Zone | population totale | Nbre de personnes équipées de LT | Nbre de personnes équipées de FS | qLT | qFS | Facteurs de conversion | jours | Volume (en $m^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BUTERERE | 73255 | 54209 | 4395 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 6401 |
| BUYENZI | 75138 | 54099 | 18784 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 7912 |
| BWIZA | 97719 | 46905 | 15635 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 6791 |
| CIBITOKE | 148940 | 11766 | 26809 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 15722 |
| GIHOSHA | 72905 | 29162 | 40827 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 7515 |
| KAMENGE | 134363 | 112865 | 12093 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 13639 |
| KANYOSHA | 145059 | 104443 | 30462 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 14661 |
| KINAMA | 128171 | 108946 | 17944 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 13829 |
| KININDO | 47971 | 480 | 47491 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 5079 |
| MUSAGA | 76799 | 52223 | 21504 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 7995 |
| NGAGARA | 64877 | 324 | 12327 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 1660 |
| ROHERO | 21526 | 3014 | 14638 | 0,3 | 0,29 | 1000 | 365 | 1879 |

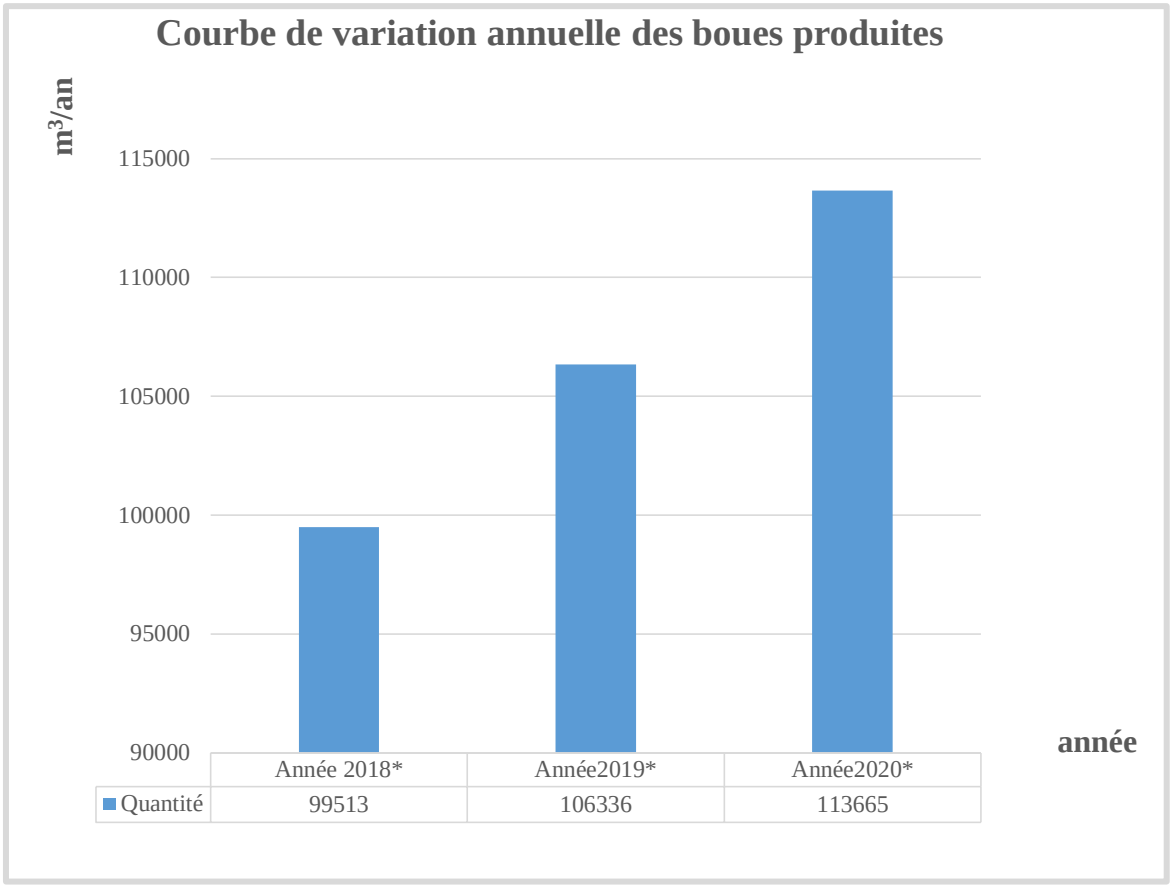



**Figure 3.16 : Quantité de boues attendues dans la ville de Bujumbura dans les années de 2018, 2019 et 2020**

Les tableaux (3.6) ; (3.7) ;(3.8) et la figure (3.16) présentent les résultats de la quantification des boues attendues annuellement dans les zones de la ville de Bujumbura des années 2018,2019 et 2020. Ces résultats tiennent compte du nombre de personnes utilisant les latrines traditionnelles et celles utilisant les fosses septiques ainsi que de la production spécifique des latrines et celles des fosses septiques. De ces tableaux et figures, il est à constater que la quantité des boues attendues dans la ville de Bujumbura en 2018 (99513$m^3$) est inférieure à celle de 2019 (106332$m^3$) et cette dernière est inférieure à celle de 2020 (113665$m^3$). Donc la quantité des boues produite évolue d'année en année, évolution consécutive à l'augmentation de personnes résident dans différentes zones de la ville de Bujumbura et ses environs au cours du temps.

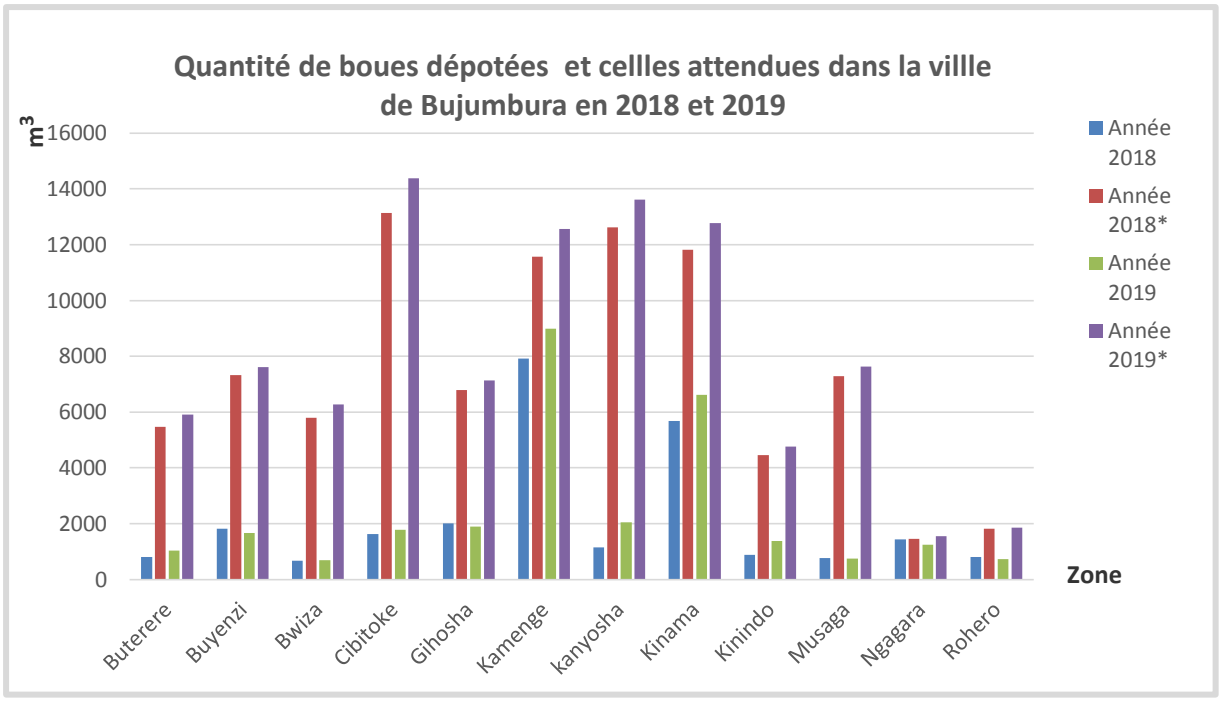



**Figure 3.17 : Quantité de boues dépotées à la STEP de Buterere et celle attendue en ville de Bujumbura.**

Les années 2018 et 2019 correspondent à la quantité de boues dépotées au STEP de Buterere. Les années 2018* et 2019* correspondent à celles attendues dans la ville de Bujumbura et sont calculées et présentées dans les tableaux 3.6, 3.7et 3.8

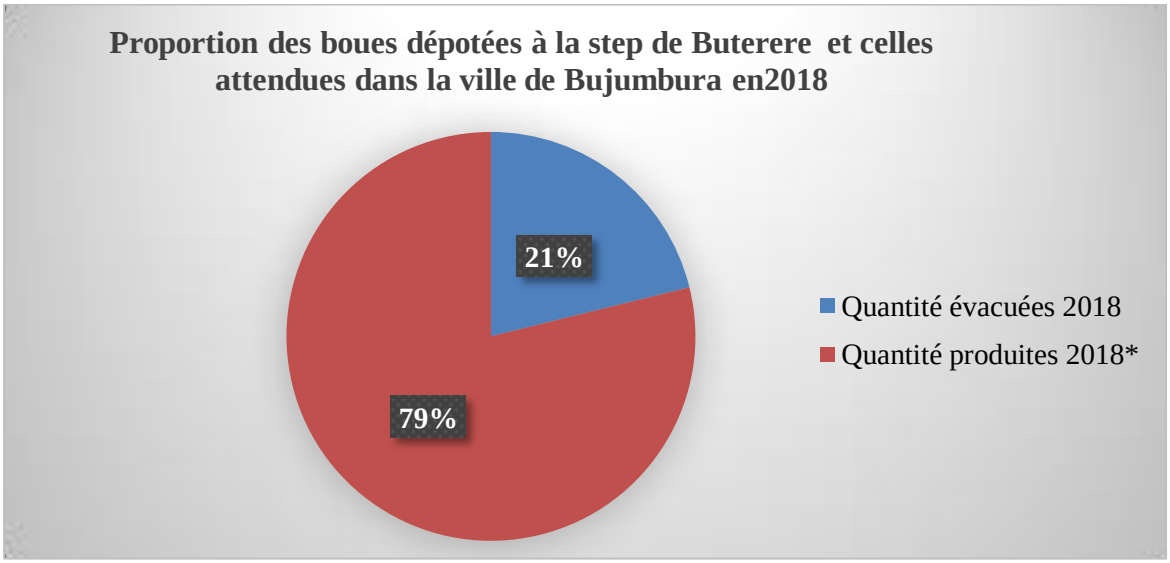



**Figure 3.18 : Proportion des boues de vidange dépotées à la station d'épuration de Buterere et celle attendue dans la ville de Bujumbura en 2018.**

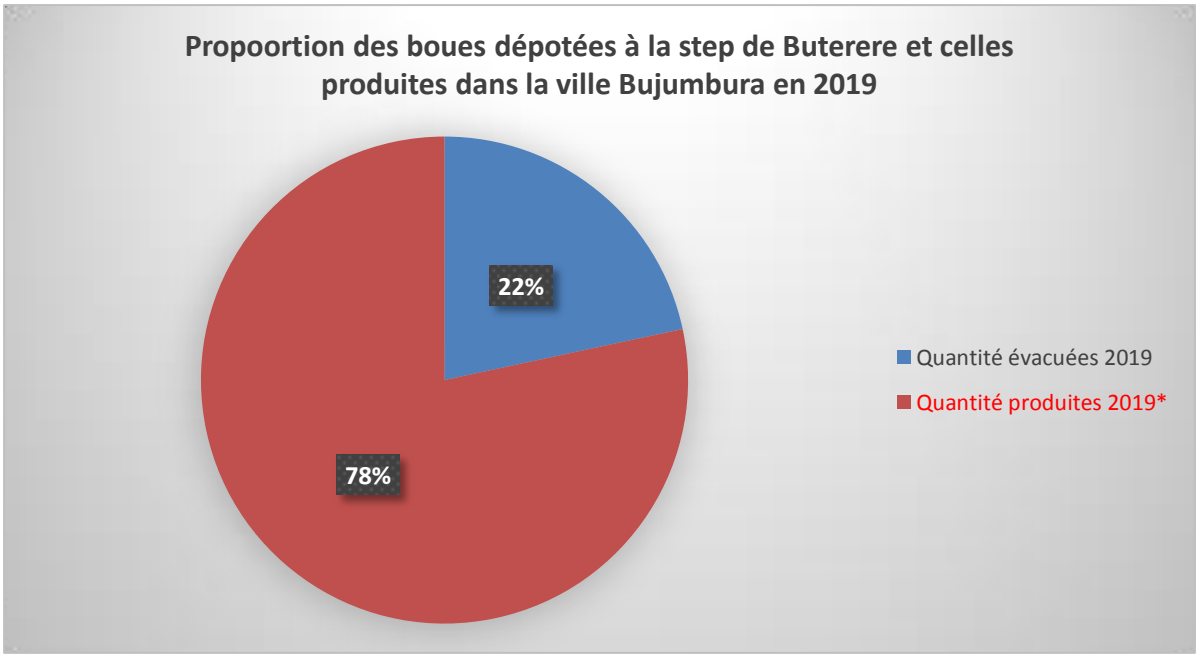



**Figure 3.19 : Proportion des boues de vidange dépotées à la station d'épuration de Buterere et celle attendue dans la ville de Bujumbura en 2019.**

Les Figures 3.17, 3.18 et 3.19 présentent les quantités dépotées à la station d'épuration de Buterere et celles qui sont attendues dans la ville de Bujumbura. Ces figures montrent que les quantités de BV qui arrivent au site de dépotage sont de loin inférieures à celles attendues durant les années 2018 et 2019.

Cette différence se justifierait par le fait que :

- D'une part, lors de la vidange mécanique, les fosses ne sont pas vidangées en entièreté, la quantité vidangée dépend du volume du camion vidangeur qui ne correspond pas au volume de la fosse. Les volumes des ouvrages étant, dans la plupart des cas, largement supérieur à ceux des camions vidangeurs.
- D'autre part, les ménages équipés de latrines traditionnelles font souvent recours à la vidange manuelle ou comblent les latrines une fois remplis au lieu de vidanger.

## III.4 Caractéristiques physico - chimique des boues de vidange

**Tableau 3.9 : Résultats des caractéristiques physico-chimiques de boues vidangées en ville de Bujumbura**

| Paramètres | FS1 | FS2 | FS3 | FS4 | FS5 | FS6 | FS7 | FS8 | LT | FS10 | Moyenne |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| pH | 7,3 | 7,84 | 7,34 | 7,7 | 7,79 | 7,71 | 8,12 | 8,09 | 7,72 | 7,82 | 7,3 à 8,12 |
| CONDU (µS/cm) | 15250 | 22100 | 2820 | 7530 | 9950 | 8020 | 1755 | 5770 | 20400 | 2610 | 9116,875±6274 |
| MES(en mg/l) | 17680 | 32080 | 14880 | 13360 | 16760 | 16720 | 7160 | 13520 | 34840 | 12680 | 18000±6871 |
| MVS (mg/l) | 11480 | 22960 | 9560 | 8320 | 10760 | 10480 | 3640 | 8240 | 26600 | 8360 | 12102±56,35 |
| $DCO_{nf}$ (mg $O_2$/l) | 23000 | 37500 | 21000 | 19250 | 22250 | 20250 | 10500 | 17500 | 39750 | 15750 | 22675±6445 |
| $DCO_{f}$ (mg $O_2$/l) | 5100 | 8250 | 4560 | 4200 | 4800 | 4650 | 2250 | 4050 | 10350 | 2700 | 5145±2077,5 |
| $DCO_{part}$ ($mgO_2$/l) | 17900 | 29250 | 16350 | 15050 | 17450 | 15600 | 8250 | 13450 | 29400 | 13035 | 17573,5±4766 |
| $DBO5_{nf}$ ($mgO_2$/l) | 7700 | 12600 | 6900 | 6600 | 7800 | 7500 | 3700 | 5900 | 14500 | 6000 | 7920±2252 |
| $DBO_{5f}$ ($mgO_2$/l) | 1900 | 2800 | 1600 | 1460 | 1660 | 1600 | 750 | 1400 | 3600 | 950 | 1772±597 |
| $DBO_{5\ part}$ ($mgO_2$/l) | 5800 | 9800 | 5300 | 5140 | 6140 | 5900 | 2950 | 4500 | 10900 | 5050 | 6148±1681 |
| $NH_4^+$nf (en mg/l) | 2042 | 2650 | 2100 | 1890 | 2250 | 1870 | 1150 | 1690 | 3350 | 1540 | 2053,2±427 |
| $NO_2^-$ nf (mg/l) | 54,41 | 82,4 | 49,84 | 29,5 | 51,92 | 44,34 | 25,07 | 43,23 | 98,09 | 42,02 | 51,82±17 |
| $NO_{3\ nf}^-$ (mg/l) | 98,48 | 111,3 | 114,4 | 68,1 | 106,16 | 85,98 | 43,6 | 70,84 | 141,3 | 61,76 | 90±25 |
| $PO_4^{3-}$nf (mg/l) | 154,96 | 161 | 123,1 | 96,46 | 133,96 | 143,09 | 112,84 | 121,21 | 186,46 | 95,71 | 132,9±24 |

Le tableau 3.9 ci-dessus, présente les différents paramètres de pollution et leurs moyennes relevés entre juin et juillet 2020 au niveau des camions vidangeurs. Le constat général qui se dégage est la forte variabilité des résultats pour les échantillons de différents ouvrages.

**pH**

Un pH légèrement alcalin et très peu variable d'une fosse à une autre a été obtenu pour différents échantillons. Comme cela apparaît dans le Tableau 3.10, les pH extrêmes obtenus sont respectivement 7,3 et 8,12, des valeurs compatibles avec le développement des bactéries qui assurent l'épuration des boues. En effet, le pH peut être un facteur limitant pour le développement des bactéries épuratrices. Celles-ci se développent en général à des pH compris entre 5 et 9 (Degrémont, 2005cité par Martine, 2016).

**Conductivité**

La conductivité au niveau des boues analysées varie entre 1755 et 22100µS/cm comme le montre le Tableau 3.9. Ces résultats confirment qu'il y'a une forte présence de sels minéraux dans les boues échantillonnées. La conductivité étant un paramètre global, des analyses plus poussées, qui consisteraient notamment en la détermination des métaux susceptibles de se rencontrer dans ces boues et qui permettraient davantage de tirer des conclusions sur les caractéristiques des boues. En effet, des valeurs élevées de la conductivité engendrent des modifications de l'écosystème bactérien et ont une influence également sur la survie de la faune et de la flore aquatiques (Koné *et al.,* 2012). Le site de dépotage étant une station d'épuration de type lagunage qui n'a pas d'effet épurateur sur les métaux, la connaissance du type et du devenir des métaux contenus dans les boues dépotées dans la station reste d'un intérêt capital.

**MES**

Les matières en suspension se situent entre 7160 mg/l et 34 840 mg/l avec une valeur moyenne de 18000±6871mg/l.

La teneur en MES trouvée pour notre cas est supérieure à celle trouvée par Mahamane (2011) qui est de 11084 mg/l. Les valeurs relativement élevées pour cette étude pourraient s'expliquer par le fait de la pratique même de la vidange c'est-à-dire la vidange sans dilution du contenu de la fosse.

**Nitrates**

La concentration moyenne en nitrates est de 90±25 mg/l pour l'ensemble des boues analysées, avec cependant, des teneurs variant entre 43,6 mg/l et 141,3mg/l. Les valeurs relevées justifient la nécessité d'un traitement des boues avant leur rejet dans la nature afin d'éviter le risque de pollution des eaux de surface et des eaux souterraines (Josse *et al.*, 2016 ; Nyenje *et al*.,2010 ; Bricha *et al*., 2007 ; Rajmohan et Elango, 2005).

**Phosphates**

Le tableau (3.9) qui donne les teneurs en phosphates, indique que la concentration en phosphates varie de façon importante avec comme valeur moyenne de 132,9±24 mg/l. Le Phosphore qui se trouve dans les boues sous différentes formes (phosphore organique, Ortho phosphates…) peut être issu de l'alimentation mais également de sources naturelles.

**Ammonium**

La dégradation de l'azote organique en ammonium fait partie intégrante du cycle de l'azote dans la production des nutriments. Des teneurs élevées en ammonium ont été relevées au niveau de tous les ouvrages avec une moyenne de 2053,2±427 mg/l (Tableau 3.9). Ces teneurs en ammonium pourraient s'expliquer par la qualité de l'ouvrage (fosse septique ou latrine) et le temps que les boues ont passé dans la fosse, ce temps donne des renseignements sur le degré d'ammonification. Il convient de signaler que dans ces ouvrages, les conditions d'anaérobiose favorisent l'ammonification de la matière organique azotée avec formation de l'azote ammoniacal mais ne permet pas une véritable nitrification qui exige des concentrations en oxygène élevée. Les valeurs élevées d'azote pourraient aussi s'expliquer par le fait que l'urine reconnu comme riche en azote est évacuée avec les boues de vidange (Koné & Strauss, 2004).

**Nitrites**

Les ions nitrite, forme oxydée de l'azote, ne sont pas stables ; ils évoluent rapidement en nitrates en milieu aérobie. Leur accumulation dans les ouvrages de stockage des boues témoigne d'une faible concentration en oxygène qui y règne et qui ne permet pas d'aller jusqu'à la phase finale de l'oxydation de la matière azotée.

**DCO et la $DBO_5$**

La pollution organique, dans cette étude, représente des concentrations variant entre 10500 à 37500 $mgO_2/l$ avec une valeur moyenne de 22675 ± 6445 $mgO_2/l$ pour la DCO non filtrée et 3700 à 14500 $mgO_2/l$ avec une valeur moyenne de7920±2252 $mgO_2/l$ pour la $DBO_5$ non filtrée. La figure ci-dessous montre une comparaison des valeurs en DCO et en $DBO_5$ de la présente étude avec celles de la littérature trouvées dans quelques villes des pays en voie de développement.

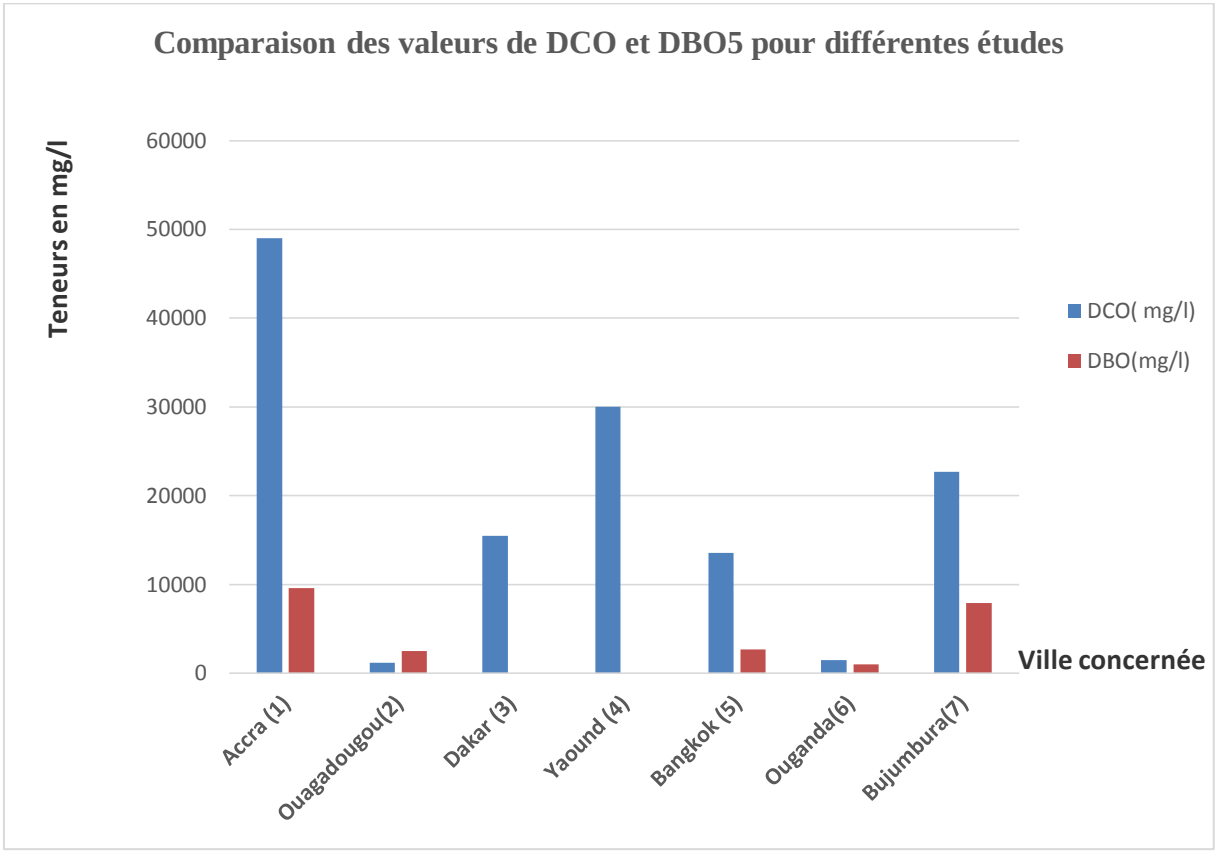



**Figure 3.20: Comparaison de quelques paramètres pour différentes villes. [1] Koné et Strauss, 2004 ; [2] Mahamane, 2011 ; [3] Walker, 2008 ; [4] Kengne, 2006 ; [5] Koottatep et al., 2005 ; [6] Martin KONE L ; [7] La présente étude.**

La figure 3.20 montre que les deux paramètres (DCO et $DBO_5$) comparés pour les différentes villes varient d'une ville à une autre. Les valeurs trouvées dans le cadre de cette étude oscillent entre celles trouvées à Accra par Koné et Strauss (2004) et à Yaoundé par Kengne (2006). Ces valeurs prouvent à suffisance de l'intérêt de traiter convenablement ces boues pour prévenir les risques sanitaires et environnementaux.

### III.4. 1 Ratios entre différents paramètres

**Tableau 3.10 : Ratios entre les différents paramètres**

| Ratio entre paramètres | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 | LT | F10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **DCOtotale/DBO5 totale** | 2,9 | 2,98 | 2,91 | 2,85 | 2,7 | 2,83 | 2,96 | 2,94 | 2,62 | 2,99 |
| **DCOpart/MES** | 0,91 | 1,09 | 1,12 | 1,04 | 0,93 | 1,15 | 0,99 | 0,84 | 1,02 | 1,01 |
| **$DBO_5$part/MES** | 0,3 | 0,36 | 0,38 | 0,36 | 0,35 | 0,41 | 0,33 | 0,31 | 0,39 | 0,33 |
| **MVS/MES** | 0,71 | 0,64 | 0,62 | 0,64 | 0,62 | 0,5 | 0,6 | 0,76 | 0,66 | 0,64 |
| **$NH_4^+$/DCOtotale** | 0,07 | 0,1 | 0,09 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,096 | 0,085 | 0,098 | 0,08 |
| **$NH_4$+/DCOsoluble** | 0,32 | 0,45 | 0,45 | 0,46 | 0,4 | 0,5 | 0,41 | 0,32 | 0,57 | 0,4 |
| **DCOpart./DCOtotale** | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,77 | 0,77 | 0,76 | 0,73 | 0,82 | 0,8 |
| **DCOsoluble/DCOtotale** | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,22 | 0,21 | 0,23 | 0,26 | 0,17 | 0,2 |
| **MVS/DCOsoluble** | 2,8 | 2,06 | 2 | 2,2 | 2,25 | 1,61 | 2,03 | 2,57 | 3,09 | 2,3 |
| **DCOsoluble/$DBO_5$soluble** | 2,94 | 2,9 | 2,86 | 2,89 | 2,9 | 3 | 2,89 | 2,87 | 2,84 | 3 |

Ce tableau présente les résultats des ratios entre paramètres de pollution analysés au laboratoire et montre l'état des boues de quelques ouvrages d'assainissement non collectifs de la ville de Bujumbura. En analysant un peu plus en détail les ratios entre ces quelques paramètres, le Ratio DCOtotal/DBO5total dont les valeurs respectives varient entre 2,62 et 2,99 pour les boues de vidange de 10 fosses septiques (FS1, $FS_2$, …. et $FS_{10}$) justifie au regard de la valeur classiquement connue (1,25<DCOtotal/DBO5total< 3) (Edeline, 1997) que ces boues contiennent encore de la matière organique plus ou moins biodégradable.

De plus, compte tenu des valeurs des DCO et DBO (Tableau 3.9), leur traitement est obligatoire avant de les rejeter dans le milieu naturel. Les ratios DCOpart. /MES et $DBO_5$ part./MES respectivement variant de 0,84 à 1,15 et 0,3 à 0,41 indiquent que les BV contiennent respectivement 0,85 g à 0,9g de DCO et 0,3g à 0,41 g de DBO par g de MES. Ces valeurs montrent que la pollution particulaire n'est pas négligeable.

Par ailleurs, le rapport MVS/MES de 0,64 justifie une prédominance de la matière organique encore biodégradable et une présence de biomasse épuratrice en quantité suffisante.

De surcroit, les ratios DCOpart. /DCOtotale, DCOsoluble/DCOtotale respectivement égaux à 0,80 et 0,20 montrent que, au cours de la valorisation énergétique de ces boues, le potentiel biogaz de ces boues de vidange provient essentiellement de la matière organique particulaire. Toutefois, les valeurs des rapports MVS/DCOsoluble des ratios exprimant les rapports entre la biomasse et le substrat disponibles dans les boues de vidange, prouvent que celles-ci contiennent plus de biomasse que de substrat. Ces résultats se trouvent dans la même gamme que ceux trouvés par Nsavyimana (2014).

### III.4.2 Le flux polluant des boues des fosses dépotées à la station de Buterere

Les flux (kg/j) en différents paramètres sont déterminés en se servant de la concentration moyenne de différents paramètres (mg/l converti en Kg/kl) et de la quantité moyenne des boues dépotées par jour à la station de Buterere ($m^3$/j) pour l'année 2019.

F (kg/j) =Qi*Ci =Kg/kl*$m^3$/j ou Kg/kl=Kg/$m^3$ où F est le flux polluant, Qi le débit, Ci la concentration.

**Tableau 3.11 : Synthèse des quantités moyennes des BV dépotées par jour pour 2018 et 2019**

| Année | 2018 | 2019 |
|---|---|---|
| Qté totale vidangée dans la vile de Bujumbura en $m^3$ | 26849 | 28820 |
| Qté moyenne vidangée par jour dans la vile de Bujumbura en $m^3$ | 72 | 79 |

**Tableau 3.12 : Concentrations moyennes des différents paramètres convertis en Kg/Kl**

| **Paramètres** | DCO | $DBO_5$ | MES | MVS | $N\text{-}NH_4^+$ | $NO_2^-$ | $NO_3^-$ | $PO_4^{3-}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ci en (kg/Kl)** | 23±6,5 | 8±2,3 | 18±6,3 | 12,1±0,02 | 2,01±0,5 | 0,05±0,02 | 0,1±0,03 | 0,1±0,04 |

Les tableaux 3.11 et 3.12 présentent les quantités moyennes des boues dépotées à la STEP par jour et par an pour 2018 et 2019 et les concentrations moyennes des différents paramètres convertis en Kg/Kl (Ci).

Les résultats du tableau (3.4) donnent une quantité de BV de 28820$m^3$annuellement dépotées à la station d'épuration de Buterere, Ce qui donne79$m^3$ par jour, la quantité de boues dépotées à la station d'épuration de Buterere.

Exemple de Calcul du flux polluant pour les DCOnf

F(kg/j) = Qi*Ci, avec $Q_i$=79$m^3$/j  $C_i$= 22675±6445 mg $O_2$/l = 22,675±6,445 kg/$m^3$

F(kg/j) = 22,675±6 ,445 kg/$m^3$ * 79$m^3$/j  =1817±513,5kg/j de DCO

De la même manière, nous avons trouvé les résultats donnés dans le tableau ci-dessous.

Le tableau dessous représente les flux polluants journaliers entrant dans la station d'épuration de Buterere.

**Tableau 3.13 : Flux polluants des boues dépotées à la station de Buterere en 2019**

| **Paramètres** | **Qi (en $m^3$/j)** | **Ci en (kg/$m^3$)** | **F(en kg/j)** |
|---|---|---|---|
| **DCO nf** | 79 | 22,675±6,445 | 1817±513,5 |
| **DCOf** | 79 | 5145±2077,5 | 406,45±164 |
| **$DBO_5$ nf** | 79 | 7,920±2,252 | 602±171,2 |
| **$DBO_5$ f** | 79 | 1772±597 | 147±47 |
| **MES** | 79 | 18,000±6,274 | 1422±498 |
| **MVS** | 79 | 12,102±0,017 | 956± 1,6 |
| **N-$NH_4^+$** | 79 | 2,053±0,45 | 159±39,5 |
| **$NO_2^-$** | 79 | 0,052±0,017 | 4±1,6 |
| **$NO_3^-$** | 79 | 0,090±0,025 | 7±27±2,4 |
| **$PO_4^{3-}$** | 79 | 0,1±0,023 | 8±2,4 |

Où F : flux polluant des boues dépotées à la station d'épuration de Buterere

Qi : le débit journalier des boues dépotées à la station d'épuration

Ci : concentration moyenne des paramètres analysés

Ces flux sont des paramètres importants qui nous renseignent d'une part sur la quantité de pollution à traiter par jour dans la station d'épuration de Buterere et d'autre part constituent

des données primordiales pour le dimensionnement d'un site de dépotage pour gérer convenablement les boues. La station de Buterere est surchargée résultats qui avaient été par ailleurs trouvés par NIYUNGEKO en 2007. Cette station n'est pas à mesure de supporter cette charge polluante additionnelle en plus de celle d'eaux usées qu'elle reçoit habituellement compte tenu de ce qu'elle était destinée à traiter. Pour éviter cette charge, les décideurs pourraient préconiser le site de dépotage des boues de vidange qui pourrait accueillir les quantités de boues produites dans la ville.

## III.5. Proposition de solutions d'amélioration de la GBV

### III.5.1. Proposition de la structure organisationnelle de la gestion des BV dans la ville de Bujumbura

Est-il opportun d'imaginer le modèle qui conviendrait mieux pour une gestion pérenne et efficace des BV dans la ville de Bujumbura ? La réponse à cette question nécessite de prendre en considération toutes les parties prenantes à savoir les ménages, les professionnels de la vidange des boues, les pouvoirs publics et les industries potentielles réutilisatrices de ces boues dans le cadre d'une valorisation.

D'après les sondages (non formels) faits dans les quartiers de bas standing de la ville de Bujumbura, une fosse dont le prix de la vidange mécanique est de soixante mille francs burundais est vidangée manuellement pendant la nuit à trente mille. On comprend bien pourquoi dans les localités de bas standing, la préférence est tournée vers la vidange manuelle (illégale) pour réduire à moitié le prix qu'ils auraient dû payer en utilisant celle qui est mécanique. Pour tendre vers la résolution de la question ci-dessus posée, cette étude propose un modèle de gestion avec incitation au dépotage légal (Figure 3.21).

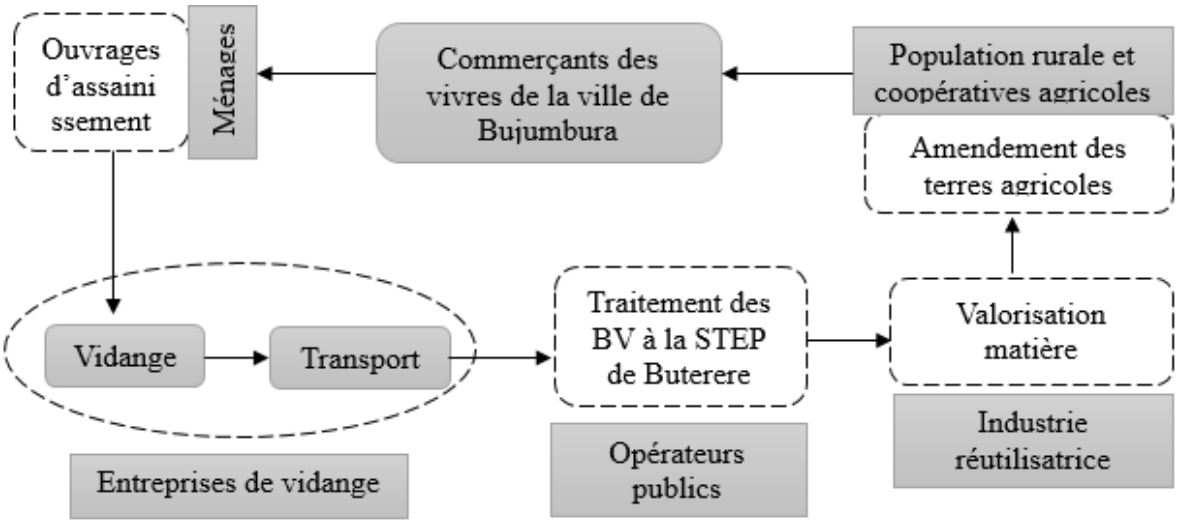



**Figure. 3.21 : Proposition de la structure organisationnelle de la gestion des BV dans la ville de Bujumbura**

Les boues sont collectées dans les ménages des particuliers par les entreprises de vidange qui les cèdent par après à l'opérateur public. L'opérateur public est chargé de faciliter la collecte et le prétraitement de ces boues qui sont ensuite livrées à l'industrie réutilisatrice pour la valorisation. Dans le contexte de la ville de Bujumbura, la FOMI, une industrie de production d'engrais organo-minéraux située à plus ou moins trois kilomètres de la STEP pourrait servir par exemple comme industrie réutilisatrice moyennant paiement d'une somme qui servirait à diminuer notamment le tarif de la vidange mais aussi à faciliter le prétraitement. Ceci signifie que le prix à payer pour la vidange serait supporté en partie par le ménage tandis qu'une autre partie serait supporté par l'opérateur public via les revenus de revente à l'industrie réutilisatrice des boues prétraitées. Cette conception organisationnelle peut être vue sous forme d'un cycle car l'engrais produit par l'industrie réutilisatrice est vendu à la population rurale pour l'amendement des terres agricoles et la production qui en résulte est commercialisée auprès des ménages de la ville de Bujumbura et ses environs propriétaires des ouvrages à vidanger.

Cependant, cette organisation n'est efficace et pérenne que lorsque toutes les parties prenantes trouvent des facilités pour réaliser les tâches qui leurs reviennent.

### III.5.2. Planification avec les parties prenantes.

La gestion des BV doit être une partie intégrante du processus de planification de l'assainissement urbain à long terme. L'identification et la définition des rôles spécifiques de toutes les parties prenantes, ainsi qu'un dialogue entre elles représentent les seules et les plus importantes mesures contribuant au développement et au maintien d'une gestion améliorée des BV. La planification consiste aussi à développer une approche innovante basée sur les trois piliers : l'implication des parties prenantes, la volonté d'amélioration par les ménages, et la promotion de petites coopératives.

Il faut également une politique globale d'assainissement qui est conçue avec une concertation effective et des rôles bien définis entre les services en charge de la santé, de l'urbanisme, de la voirie, des infrastructures et de l'habitat (OBUHA) et de l'environnement dans leurs attributions.

## CONCLUSION GENERALE

Ce travail portant sur la caractérisation des boues de vidange produites en ville de Bujumbura avait comme objectif de caractériser les boues produites dans cette ville. Pour atteindre cet objectif, nous avons mené des investigations sur terrain en vue d'apporter une meilleure compréhension du secteur d'assainissement non collectif. Ce travail s'est focalisé surtout sur les différents maillons de la chaine d'assainissement c'est-à-dire le maillon amont en rapport avec le stockage des boues et la vidange, intermédiaire qui s'intéresse au transport des boues vers le site de dépotage ainsi que le maillon aval qui concerne le traitement des boues (détermination des quantités et de la qualité).

Au niveau des maillons amont et intermédiaire, la technique de routage des camions vidangeurs a permis de saisir les enjeux autour de la vidange mécanique des boues, seule méthode qui permet d'acheminer les boues vidangées au site de traitement. Les enjeux relevés sont notamment d'ordre organisationnels et financiers, techniques ainsi que sanitaires et règlementaires.

Par rapport à ces enjeux, il a été remarqué que la gestion des BV souffre d'un manque d'organisation, de planification et d'existence de réglementation efficace, également qu'il est important de prendre rapidement des mesures pour améliorer les conditions d'hygiène et de salubrité dans la ville.

Pour le maillon aval, l'accent a été mis sur la détermination des quantités de boues ainsi que leurs qualités.

Concernant la quantification des boues de vidange dans la ville de Bujumbura, la présente recherche a permis de donner des estimations qui aideraient le décideur à bien gérer les boues en montrant notamment la quantité qui arrive au site de dépotage par rapport à la quantité attendu. En effet, aucune étude n'a été faite sur la quantité des boues qui est produite en ville de Bujumbura. La précédente de Bigumandondera (2014) était basée essentiellement sur des quantités des boues dépotées à la station pour quelques zones de la mairie de Bujumbura. D'un point de vue scientifique, cette méthode ne permet pas d'avoir une estimation de la quantité des boues à traiter dans la capitale économique.

La particularité de la méthodologie préconisée dans ce travail est la quantification des boues dépotées et produites en ville de Bujumbura. Les résultats ainsi obtenus sont de 2405$m^3$/mois de boues évacuées contre 8861$m^3$/par mois de celles attendues, représentent le préalable indispensable à toute politique de gestion. Ce sont à partir de ces données de référence que les projections de l'évolution des boues peuvent être établies, car elles reflètent la réalité des

quantités potentiellement générées et évacuées.

Quant aux caractéristiques physico-chimiques des boues vidangées ainsi que les ratios entre les paramètres, les principaux résultats qui émergent sont que :

Les boues de vidange contiennent encore une partie non négligeable de la charge polluante et nécessitent un traitement préalable avant leur rejet dans la nature, résultats qui avait par ailleurs été déjà trouvé dans d'autres études antérieures de Nsavyimana (2014). Ce sont des boues biochimiquement instables.

Enfin, quel que soit la solution à retenir, les services chargés de la gestion de l'assainissement devront mettre un point particulier sur la sensibilisation de la population en matière d'assainissement individuel et la définition des rôles des différents acteurs. Ils devront aussi mettre sur pied des textes règlementaires relatifs aux boues de vidange. Faire le suivi de l'activité des vidangeurs ainsi que la mise en place d'un plan de gestion du secteur d'ANC en ville de Bujumbura qui tient compte d'un certain nombre de facteurs notamment la nature du sol, le niveau de vie de la population, l'agrandissement de la ville et le statut foncier de différentes zones.

## PERSPECTIVES

L'objectif global de cette étude est de caractériser les boues de vidange produites en ville de Bujumbura. Nous avons atteint les objectifs fixés par la recherche. Cette recherche nous a permis à mettre à la disposition des chercheurs et des acteurs publics en charge de l'assainissement les données sur la quantification et la caractérisation des boues et les enjeux qui entourent la vidange mécanique dans la ville de Bujumbura.

Néanmoins, nous ne pouvons pas prétendre d'avoir tout épuisé dans le domaine de la gestion des boues. Ainsi, un certain nombre de points mériterait un approfondissement :

- Il serait intéressant de mener une étude sur le dimensionnement des sites de dépotages des BV qui respectent les normes techniques permettant leurs traitements ; qui pourrait remplacer la station d'épuration de Buterere ;
- Il serait aussi intéressant de faire une analyse des métaux lourds contenus dans les boues ;
- Il serait également utile de mener des investigations dans le but de proposer d'autres alternatives de gestion des excréta notamment les technologies EcoSan qui consistent en une gestion séparée des urines et de la matière fécale.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


1. Ambassa, N. (2005). Contribution à la caractérisation des boues de vidange de la ville de Yaoundé. Mémoire de DESS, Faculté des sciences de l'Université de Yaoundé I. 40 p.
2. Bigumandondera, P. (2014). Etude de l'assainissement non collectif en Afrique subsaharienne : Application à la ville de Bujumbura. Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, 276p.
3. Blunier, P. (2004). La collecte et le transport mécanisés des boues de vidange dans la ville d'Ouahigouya (Burkina Faso) - Analyse du marché et propositions de réorganisation des flux financiers. Lausanne, EPFL
4. Blunier, P., Koanda, H., Strauss, Klutse, A &Tarradellas, J. (2004). Quantification des boues de vidange, Exemple de la ville d'Ouahigouya, Burkina Faso, EAWAG/SANDEC, Lausanne, 8 p.
5. Bricha, S., Ounine, K., Oulkheir, S., El Haloui, N., &Attarassi, B. (2007). Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe phréatique M'nasra (Maroc). Afrique Science, 3(3), 391-404.
6. Capart, A. (1952). Exploration hydrobiologique du lac Tanganyika,1946-1947 *: résultats scientifiques*. Le milieu géographique et géophysique. Institut royal des sciences naturelles en Bergique.
7. Chocat, B & Eurydice 92. (1997). Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement. Tech. & Doc.
8. Cisse, B. (2014). Analyse socioéconomique et sanitaire de la gestion des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou. Mémoire de master. Institut International d'ingénierie de l'eau et de l'Environnement
9. CMAE, BAD, Banque mondiale, WSP. (2008) : Analyse de la situation de l'hygiène et de l'assainissement dans 32 pays Africains
10. Collignon, B. (2002). Les entreprises de vidange mécanique des systèmes d'assainissement autonome dans les grandes villes africaines. Châteauneuf de Gadagne, Hydroconseil
11. CREPA. (2002). Gestion des Boues de Vidange au Bénin : Etat des Lieux. Project report, February.
12. Dodane, P. H., Mbeguere, M., Kengne, I. M., &Strande-Gaulke, L. (2011). Planted drying beds for faecal sludge treatment: lessons learned through scaling up in Dakar, Senegal. Desalination, 1(8).

13. Edeline, F. (1997). Théorie et technologie des réacteurs. L'épuration biologique des eaux. Editions CEBEDOC, Liège, 303 p. 1997.
14. Franceys. Pickford. Reed., J, & world Health organisation. (1995). Guide de l'assainissement individuel. Genève : Organisation mondiale de la Santé.
15. Heinss, U., Larmie, U.A., &Strauss. (1998). Solids separation and pond systems for the treatment of faecal sludge in the tropics, Lessons learnt and recommendations for preliminary design, EAWAG/SANDEC, Duebendorf: Suisse,
16. Hina, D. M. (2009). Contribution à la gestion durable et de valorisation des boues de vidange dans la ville de Fada N'Gourma au Burkina Faso : analyse critique du potentiel de l'offre et de la demande et propositions des stratégies, Thèse de Master en Ingénierie de l'eau et de l'environnement, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement (2iE), Burkina Faso.
17. INEA. (2009). Inventaire national de l'eau et de l'assainissement
18. ISTEEBU. (2008). Recensement général de la population et de l'habitat. Ministère de l'intérieur, Bujumbura.
19. Josse, R.G., Toklo, R.M., Dossou-Yovo P, Fatombi, J.K., Senou, S.F., Topanou, N. (2016). Corrélation entre les résultats physico-chimiques et microbiologiques des lixiviats du lieu d'enfouissement sanitaire (LES) d'Ouèssè/Ouidah et ceux des eaux souterraines et superficielles du milieu. Int. J. Biol. Chem. Sci., 10(2): 875-883.
20. Joy, D. M., King, T. R., Maunoir, S., & Philip, H. (2004). Field testing of the Eparco Compact Filter wastewater system. In On-Site Wastewater Treatment X, 21-24 March 2004 (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
21. KengneNoumsi, I. M., Amougou, A., Bemmo, N., Strauss, M., Troesch, S., Ntep, F., ... &Koné, D. (2006, September). Potentials of sludge drying beds vegetated with Cyperus papyrus L. and Echinochloapyramidalis (LAM.) hitchc. & chase for faecal sludge treatment in tropical regions. In Proceedings of the Conference on the Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands, Lisbon, Portugal.
22. Kengne, I., Diaz-Aquado, B. M., &Strande, L. (2014). Enduse of treatment products. Faecal sludge management: Systems approach for implementation and operation, 203-230.
23. Klingel F., Montangero A., Koné D. et Strauss M. (2002). Gestion des boues de vidange dans les pays en développement. Manuel de planification. Eawag/Sandec, Dübendorf, Suisse, 57 p.
24. Klingel, F., Montangero, A., Koné, D et M. Strauss, M. (2002). Gestion des boues de

vidange dans les pays en développement, SANDEC/EAWAG Dübendorf : Suisse, 63 p.

25. Klutse, A., Maiga, A.H., Kientga, M., Kaboui, E. & E. Kouassi-Komlan, E. (2004). Etude de faisabilité détaillée de la collecte, du transport et/ou du traitement décentralisé et de transport des boues de vidange dans la ville d'Ouagadougou. Burkina Faso. WSP, Mairie d'Ouagadougou et ONEA. Rapport final, 140 p.
26. Koanda, H. (2006). Vers un assainissement urbain durable en Afrique Subsaharienne : Approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange, Thèse de Docteur, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 262 p.
27. Koné D. (2002). Épuration des eaux usées par lagunage à microphytes et macrophytes en Afrique de l'ouest et du centre : État des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse de Doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 170 p.
28. Koné, D. (2010). Making urban excreta and wastewater management contribute to cities' economic development: a paradigm shift. Water Policy, 12(4), 602-610.
29. Koné, D. Saywell, D.&Strauss, M. (2007). Rapport du 1er Symposium/Atelier international sur la Politique de gestion des boues de vidange, Dakar, Sénégal, 9 – 12 mai 2006, SANDEC/EAWAG, Dübendorf : Suisse, 32 p.
30. Koné, M., Ouattara, Y., Ouattara, P., Bonou, L., & Joly, P. (2016). Caractérisation des boues de vidange dépotées sur les lits de séchage de zagtouli (Ouagadougou). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 10(6), 2781-2795.
31. Koottatep, T., Surinkul, N., Kamal, ASM. Polprasert, C., & Strauss, M. (2005). Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate- Lessons learnt after seven years of operation, Wat. Sci. Technol 51(9), 119-126.
32. Kouawa, T. (2016). Traitement des boues de vidange par lits de séchage sous climat soudano-sahélien (Doctoral dissertation).
33. Lossing, B. J. (2009). The Life and Times of Philip Schuyler. Applewood Books.
34. Mahamane, I. (2011). Contribution à la gestion durable des boues de vidange de la ville d'Ouagadougou : Caractérisation des boues et évaluation du dimensionnement des STBV de Kossodo et Zagtouli. Mémoire de Master spécialisé 2iE, Ouagadougou, p.68.
35. MindeleUkondalemba, L. (2016). Caractérisation et tests de traitement des déchets ménagers et boues de vidange par voie anaérobie et compostage pour la ville de Kinshasa (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).
36. Montangero, A.& Strauss. (2002). Gestion des boues de vidange. Duebendorf, Water and

Sanitation in Developping Countries EAWAG/SANDEC.

37. Montangero, A., & Strauss, M. (2002). Faecal sludge treatment. Eawag/Sandec.
38. Müller S. &Rijnsburger J. (1988). MAPET. A Neighborhood-Based Pit Emptying Service with Locally Manufactured Hand pump Equipment in Dares Salam, Tanzania. Manual Pit-Latrine Emptying Technology Project Final Report. Gouda, the Netherlands, 55 p.
39. Niyongabo, H. (2006) Intégration des enjeux social et quantitatif pour la maîtrise de l'assainissement liquide en Afrique Tropicale : Application à la ville de Bujumbura. Ph.D. Thesis, Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, 293 p.

Niyungeko, C. (2007). Evaluation de l'efficacité épuratoire de la station de lagunage de Buterere. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master complémentaire en Sciences de l'Environnement.

40. Nsavyimana, G. (2014). Modélisation des processus physiques et biologiques dans des fosses septiques et voies de valorisation des boues de vidange : Application à Bujumbura-Burundi (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique).
41. Nsavyimana, G. (2007) : Evaluation de l'état de stabilisation des gadoues des fosses septiques de la ville de Bujumbura. Mémoire de DESS. Université du Burundi, Faculté des Sciences.
42. Nyenje, P.M., Foppen, J.W., Uhlenbrook S, Kulabako, R.&Muwanga, A. (2010). Eutrophication and nutrient release in urban areas of Sub-Saharan Africa-a review. Science of the total environment,408(3),447-455.
43. ONEA. (1993). Plan stratégique d'assainissement des eaux usées de la ville d'Ouagadougou au Burkina Faso. Office National de l'Eau et de l'Assainissement, Ministère de l'Environnement et de l'eau, Ouagadougou, Burkina Faso, 31p.
44. PDM & PS-EAU. (2010). Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide. Guides méthodologiques SMC sur l'eau et l'assainissement n°4. Panoply, 136 p.
45. Rajmohan, N., Elango, L. (2005). Nutrient chemistry of groundwater in an intensively irrigated region of southern India. Environ Geol., 47 : 820–830.
46. Ramanantena, J. & Santi, M. (2012). Gestion des boues de vidange Foulpointe.
47. Rehacek, S. (1996). Gestion des boues de vidange de la ville d'Ouagadougou. IGE/GS, EPFL-CREPA.
48. 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 (Doctoral dissertation, EPFL).

49. Rodier, J. (2009). Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer : Chimie, Physicochimie, Biologie, interprétation des résultats, Paris Dunod.
50. Savadogo, A. (1999). Etude du système de gestion des boues de vidange à Ouagadougou. Mémoire de fin d'étude, EIER, Ouagadougou, Burkina Faso, 75 p.
51. Shiru, N. & BO, L. (1991). Health Assessment of Night soil and Wastewater Reuse in Agriculture and Aquaculture.
52. Still, D. &Foxon, K. (2012). Tackling the challenges of full pit latrines. Water research commission, Gezina, 0031, 156 p.
53. Strande, L. Ronteltap, M. &Brdjanovic, D. (2018). Gestion des Boues de Vidange : Approche intégrée pour la mise en œuvre et l'exploitation. IWA Publishing.
54. Strauss, M.& Montangero, A. (2002). A. Capacity building for effective decentralized wastewater management: FS management – review of practices, problems and initiatives. EAWAG/SANDEC, GHK Engineering Knowledge and Research Project – R8056, 2003.
55. Uade, O. (1993). Assainissement urbain en Afrique : Gestion des déchets liquides et solides dans les centres urbains d'Afrique. Rapport final du Séminaire "Assainissement Urbain en Afrique", Ministère Français de la coopération.
56. Walker, M. (2008). Performance of the FSTP Rufisque and its Impact on the WSP. Intership report, EAWAG / SANDEC, Zürich, p. 36.

**WEBOGRAPHIE**

https://dateandtime.info/fr/citycoordinates.php?id=425378 consulté le 14/11/2020

http://www.graie.org/graie/graiedoc/reseaux/depotage/GUIDE-depot-v9-2007.pdf consulté le 08/11/2020

## ANNEXES : GUIDE DES TRAVAUX DE TERRAINS ET DE LABORATOIRE

### I. Cahier d'enregistrement journalier de la réception des boues des fosses septiques



### II. CIRCUIT DES OPERATIONS

Contact avec les acteurs impliqués sur la thématique

Entretien guidé

Routage des camions de vidange

Observations sur terrains portent sur :

Type d'équipement vidangé, (la nature des installations sanitaire dont les boues sont extraites) …….

Technique de vidanges (mode d'intervention) …….

Fréquence de vidange (liée également au dimensionnement de la fosse), ……

Le site de dépotage……. (STEP Buterere), …….

La caractérisation des ouvrages vidangés…….

Le temps de transport…….

Le temps moyen de vidange des fosses et des latrines……

Le temps de dépotage, ……

Les temps morts, …

Les distances parcourues, …….

La consommation de carburant du camion et de la pompe d'aspiration par rotation……

Les prix réellement pratiqués pour la vidange des fosses et des latrines,

Nombre de rotation par jour…….

Retour sur le site dépotage (STEP de BUTERERE)

Consultation du Cahier d'enregistrement des quantités des boues dépotées

Prélèvement des échantillons au niveau des camions vidangeurs

Caractérisation des boues de vidage

## III. GRILLE DE PRELEVEMENT

Date : …….

Lieu …….

Nom du vidangeur : ….....

| **Date de prélèvement** | **Localisation** | **Type des Latrines** | **Type de la Fosse** | **Numéro d'identification du prélèvement** | **Appréciation des boues** |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |