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

Gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu en RD Congo

Bagalwa Alwa Ntamugara, Léon

2021-01
UB, Faculté des Sciences
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/138

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

Université du Burundi

Faculté des Sciences

Gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu en RD Congo

BAGALWA NYAMUGARA Léon

MEMOIRE

Présenté en vue d'obtention de :

Diplôme de Master en Sciences et Gestion Intégrée de l'Environnement

OPTION : Eau et Assainissement

COMPOSITION DU JURY

Président	Pr NAHIMANA David (Université du Burundi, Burundi)
Secrétaire	Dr NIYUNGEKO Christophe (Université du Burundi, Burundi)
Directeur	Dr BIGUMANDONDERA Patrice (Université du Burundi, Burundi)
Co-directeur	Pr Alex LINA (Université Officielle de Bukavu, RD Congo)

Bujumbura, Janvier 2021

L'eau, c'est la vie ; l'assainissement, c'est la dignité. Réaliser une bonne latrine et bien l'utiliser hygiéniquement, c'est préserver sa dignité, sa santé, son environnement ; c'est contribuer également au bien-être de tous (être).

Léon BAGALWA NYAMUGARA

DEDICACE

A ma chère épouse Espérance NSIMIRE MAPENDO

A mes filles et fils Léonilde BAGALWA MAPENDO,
Léonella BAGALWA WANI, Léonore MIGISHO Ya BAGALWA,
Léonidas BAGALWA MURHULA, Léonardo BAGALWA MUGISHO,
et Léonis BAGALWA MTUME

A toute la famille NYAMUGARA

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, nous remercions le Sauveur et Seigneur Jésus-Christ de nous avoir donné la force et le courage pendant sa réalisation.

Nous tenons à exprimer, à travers ces lignes, toute notre gratitude aux personnes physiques et morales, sans lesquelles ce travail n'aurait pas été réalisé.

Nos remerciements vont tout droit au Professeur Patrice BIGUMANDONDERA de pouvoir accepté de diriger ce travail. Ses remarques pertinentes, sa rigueur scientifique et sa disponibilité ont permis son aboutissement.

Nos vifs remerciements s'adressent au Professeur Alex LINA pour sa disponibilité de Co-diriger ce travail, pour la confiance placée en nous, en mettant également à notre disposition les dispositifs pour la détermination de DCO et DBO_5 au laboratoire de l'Université Officielle de Bukavu « UOB ».

A tous les enseignants de l'Université du Burundi qui nous ont formés et qui ont fait de nous ce que nous sommes devenus. Que chacun trouve, en ces quelques lignes notre profonde gratitude.

Nous remercions d'une manière particulière, madame Espérance NSIMIRE MAPENDO (mon épouse) et nos enfants (Léonilde BAGALWA MAPENDO, Léonella BAGALWA WANI, Léonidas BAGALWA MURHULA, Léonardo BAGALWA MUGISHO, Léonore MIGISHO Ya BAGALWA et Léonis BAGALWA MTUME pour avoir supporté notre absence au foyer. Que ce travail soit leur fierté et le couronnement de leurs efforts et endurance.

Aux familles NYAMUGARA : (Dieudonné NYAMUGARA, Valentin NYAMURAGA, David NYAMUGARA, ..), KANDANDA (Papa KANDANDA Edmond, Maman Venantie BARHAME et mes belles-sœurs et beau-frère), BADESIRE Pascal, KAYEYE Félicien pour leur soutien et leurs encouragements.

Nos remerciements s'adressent également à tous les camarades et compagnons Burundais et Congolais, pour la solidarité, l'ambiance et le soutien mutuel qui ont caractérisé toute l'équipe pendant notre formation.

Enfin, que toutes les personnes, qui de près ou de loin, d'une façon ou d'une autre, ont apporté une pierre, petite ou grande, à la réalisation de ce travail et à l'épanouissement de notre personne, puissent trouver à travers ces lignes, l'expression de nos remerciements les plus sincères.

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Étapes de la filière de gestion des boues de vidange ----------7
Figure 1.2. Ouvrages de stockage d'eaux usées……...8
Figure 1.3. Illustration de la gestion des boues de vidange en Afrique subsaharienne……..14
Figure 2.4. Carte administrative de la ville de Bukavu 22
Figure 2.5 Aperçu générale de la base de données de l'enquête-ménage 32
Figure 2.6 Extrait de la table d'une base de données de l'enquête-ménage..... 32
Figure 3.7. Distribution du niveau d'instruction des ménages enquêtés..... 41
Figure 3.8. Répartition des types d'ouvrages sanitaires en fonction des communes 42
Figure 3.9. Alternatives en cas de remplissage des fosses septiques dans différentes Communes..... 46
Figure 3.10. Destination des boues vidangées..... 49
Figure 3.11. Lieu de déversement des eaux usées domestiques..... 50
Figure 3.12. Fréquence de vidange des boues en fonction des communes 51
Figure 3.13. Connaissance d'existence des services en charge de boues de vidange 52
Figure 3.14. Lieu de dépotage des boues vidangées dans la ville de Bukavu..... 58
Figure 3.15. Plan de gestion des boues de vidange dans la ville..... 69
Figure 3.16. Proposition d'un schéma de planification..... 70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Objectifs des trois maillons de la filière d'assainissement----------5
Tableau 1.2. Avantages et désavantages des modes de vidange des boues 12
Tableau 1.3. Caractérisation de boues de vidange de dispositifs d'assainissement à la parcelle et de boues d'épuration, rapportées par la littérature..... 16
Tableau 2.4. Répartition de l'effectif démographique de la ville de Bukavu..... 25
Tableau 2.5. Répartition de l'échantillon par quartier..... 27
Tableau 2.6. Répartition du nombre de cellules et d'avenues par quartier 29
Tableau 3.7. Distribution des classes d'âge des personnes enquêtées 40
Tableau 3.8. Distribution des personnes vivant dans la parcelle..... 40
Tableau 3.9. Relation entre mode d'assainissement et catégories sociales..... 43
Tableaux 3.10. Relation entre mode d'assainissement et l'approvisionnement en eau potable 44
Tableau 3.11. Choix d'actions face au remplissage des fosses septiques par catégorie sociale 45
Tableau 3.12. Relation entre le mode de vidange et les catégories sociales 47
Tableau 3.13. Relation entre coût et catégorie sociale 48
Tableau 3.14. Accessibilité de Camion vidangeur à la fosse septique en fonction de catégories sociales 53
Tableau 3.15. Principales entreprises intervenant dans la gestion des boues de vidange 54
Tableau 3.16. Principales structures desservies……55
Tableau 3.17. Critères de fixation de prix de vidange par des entreprises de vidange--------56
Tableau 3.18. Coût lié à la vidange pour chaque entreprise----------56
Tableau 3.19. Tours durant la période de routage des camions vidangeurs..... 57
Tableau 3.20. Résultats relatifs à la distance et au temps effectués par les camions de vidange vers le site de dépotage des boues vidangées. 58
Tableau 3.21. Estimation des boues dépotées 59
Tableau 3.22. Caractéristiques physicochimiques des boues de vidange de la ville de Bukavu..... 61
Tableau 3.23. Caractéristiques microbiologiques des boues de vidange de la ville de Bukavu 65
Tableau 3.24. Tableau synthétique de comparaison des caractéristiques des boues de vidange 67

LISTE DES ABREVIATIONS

ANC	Assainissement Non collectif
AEPA	Alimentation en Eau Potable et Assainissement
BS	Bas Standing
CREPA	Centre Régional pour l'Eau Potable et l'Assainissement à faible coût
DPS	Division Provinciale de Statistiques
Eawag	Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
ESU	Eaux Superficielles
ESO	Eaux Souterraines
ETD	Entité Territoriale Décentralisée
HS	Haut Standing
INERA	Institut National pour l'Etude et la Recherche Agronomique
IPS	Inspection Provinciale de la Santé
ISO	Organisation International de Normalisation
MONUSCO	Mission de l'Observation des Nations Unies pour la Stabilisation au Congo
MS	Moyen Standing
NWSC	National Water and Sewarage Corporation
OMS	Organisation Mondiale de la Santé /World Health Organisation (OMS)
ONAS	Office Nationale de l'Eau et de l'Assainissement
ONA	Office National d'Assainissement
RDC	République Démocratique du Congo
SAA	Systèmes d'Assainissement Autonome
SANDEC	Water and Sanitation in Developing Countries (Eau et Assainissement dans les pays en développement)
SNCC	Société nationale du chemin de fer du Congo
UNICEF	Fonds des Nations Unies pour l'enfance
VIP	Latrine améliorée à Fosse Ventilée
WASH	Eau, assainissement et hygiène
WSH	Unité eau, assainissement, hygiène et santé (siège de l'OMS)
WSP	Water and Sanitation Program

RESUME

La ville de Bukavu comme la plupart des grandes villes africaines, comprend très peu de réseaux d'égouts. Les ouvrages d'assainissement autonome sont les seuls utilisés. Ces ouvrages produisent des boues qu'il faut vidanger et traiter adéquatement afin de préserver la santé des populations et protéger l'environnement. L'objectif de ce travail est de décrire le système de collecte et d'évacuation des excrétas, relever les insuffisances afin de proposer des alternatives pour une meilleure gestion des boues de vidange. Les acteurs et leurs rôles dans la chaîne de gestion des excrétas ont été identifiés. Les échantillons des boues ont été collectés et caractérisés en laboratoire.

Les résultats qui montrent les ouvrages utilisés par les ménages dans cette ville sont tels qu'à Ibanda, 40,4% de fosse septique, à Kadutu 42,6% de latrine à canon et à Bagire 38,5% de latrine traditionnelle. La vidange de ces ouvrages d'assainissement est faite manuellement (47%), mécaniquement (23,7%) et l'informel (29,3%). En général les boues vidangées ne sont ni traitée ni valorisée, une quantité non négligeable est dirigée vers le site de dépotage non conforme aux normes et une autre quantité est déversée dans la nature (caniveaux et rivières) avec des risques possibles sanitaires et environnementaux.

Les paramètres physico-chimiques mesurés sur les échantillons des boues affichent des valeurs moyennes suivantes : pH (8,8 à 9,6) ; Conductivité (2085 à 3999µS/cm) ; T° (22,5°C) MES (24187,5±7000,3 mg/L) ; NT (58,2±4,41mg/L) ; NH_4^+ (31,8±3,478mg/L) ; $N0_3^-$ (20,2±1,09mg/L) ; $N0_2^-$ (0,6±0,296mg/L) ; PT (25,3±2,7mg/L) ; DCO (34287,5± 8389,86mg O_2/L) et DBO_5 (8484,3±4011,92mg O_2/L).

L'analyse bactériologique a portée sur la détermination des concentrations en Coliformes Fécaux, en Œufs d'helminthe, en E. coli et en protozoaire des boues vidangées dans la ville de Bukavu, cette concentration en moyenne se suive de la manière suivante : Col. Fécaux (108750±48163,3ufc/100mL) ; Œ Helm.(134287,5±50491œufs/L) ; E.Coli (11980±5589,3 ufc/100mL) et les espèces des protozoaires (15482±7128ufc/100mL).

Ces résultats montrent que, les boues vidangées manuellement ou mécaniquement et déversées anarchiquement, renferment une concentration de pollution non négligeable en matière organique, en nutriments et en parasites, dégradant l'environnement, milieu de vie des êtres vivants. D'où la nécessité d'une gestion adéquate de ces boues.

Mots clés : Bukavu, gestion des boues de vidange, paramètres physico-chimiques et bactériologiques

SUMMARY

Like most large African cities, Bukavu city in DRC has very little sewer network. On-site sanitation works are the most commonly used. These structures produce sludge which must be emptied and treated properly in order to preserve the health of populations and protect the environment from toxic waste. The objective of this work is to describe the excreta collection and disposal system, identify the shortcomings in order to propose alternatives for better management of faecal sludge. The actors and their roles in the excreta management chain have been identified. Fecal sludge samples were collected and characterized in the laboratory.

When identifying the toilet structures used by households in this city, the results show 40.4% of septic tankin Ibanda, 42.6% of cannon latrine in Kadutu and 38.5% of traditional latrine in Bagira. The emptying of these sanitation structures is done manually (47%), mechanically (23.7%) and informally (29.3%). In general, the drained sludge is neither treated nor recovered, a quantity being sent to a dumpsite that does not comply with sanitation standards and another quantity is discharged into nature (gutters and rivers) with possible health and environmental risks.

To this end, physico-chemical parameters measured on the sludge samples show the following average values: pH (8.8-9.6); Conductivity (2085-3999µS/cm); T ° (22.5 °C); Pending mattters (24187.5±7000.3mg/L); NT (58.2±4.41mg/L); NH_4^+ (31.8±3.47mg/L); NO_3^- (20.2±1.09mg/L); NO_2^- (0.6±0.296mg/L); PT (25.3±2.57mg/L); DCO (34287.5± 8389.86mg O_2/ L) and DBO_5 (8484.3±4011.92mg O_2/L).

The bacteriological analysis focused on determining the concentrations of fecal coliforms, helminths eggs, E. coli and protozoa in the drained sludge in Bukavu city, and this average concentration is presented as follows: Col. Feces (108750±48163.3ufc/100mL); Œ Helminths (134287.5±50491.6eggs/L); Escherichia Coli (11980±5589.3ufc/100mL) and protozoan species (15482±7128ufc/100mL).

These results show that the sludge emptied manually or mechanically and discharged anarchically, contains a non-negligible concentration of pollution in organic matter, nutrients and parasites, degrading the environment, the living environment of living beings. Hence the need for adequate management of this sludge.

Keywords: Bukavu city in DR Congo, fecal sludge management, physicochemical and bacteriological parameters

TABLE DES MATIERES

DEDICACE ii
REMERCIEMENTS iii
LISTE DES FIGURES iv
LISTE DES TABLEAUX v
LISTE DES ABREVIATIONS vi
RESUME vii
SUMMARY viii
TABLE DES MATIERES ix

INTRODUCTION GENERALE ----------1

CHAPITRE I. GESTION DES BOUES DE VIDANGE DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT ----------3

I.1. Etat d'assainissement en Afrique sub-saharienne----------3
I.1.1. Assainissement liquides en Afrique subsaharienne ----------3
I.1.1.1. Objectifs de la filière d'assainissement ----------4
I.1.1.2. Assainissement non collectif ----------5
I.1.1.3. Assainissement collectif ----------6
I.1.2. Gestion des boues de vidange en Afrique subsaharienne----------6
I.1.2.1. Maillon amont : ouvrages de stockage des excrétas----------7
I.1.2.2. Maillon intermédiaire : vidange et transport des boues----------9
I.1.2.3. Maillon aval : traitement des boues ---------- 14
I.1.2.4. Choix d'un site de dépotage ou de traitement 14
I.1.2.5. Caractérisation des boues 15
I.2. Cas de l'assainissement en RD Congo 17
I.2.1. Accès à l'assainissement en ville de Bukavu 18
I.2.2. Alimentation en eau potable de la ville 18
I.2.3. Situation générale de la gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu 19
I.2.3.1. Acteurs intervenant dans la gestion des boues 20
I.2.3.1.1. Ménages 20
I.2.3.1.2. Entreprises privées 20

I.2.3.1.3. Pouvoirs publics 20
I.2.3.1.4. Vidangeurs informels des boues 20
I.2.3.2. Les risques sanitaires associés aux boues de vidange 21

CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES 22

II.1. Description de la zone d'étude 22
II.1.1. Situation géographique et administratif 22
II.1.2. Historique de la création de la ville de Bukavu 23
II.1.3. Aspect socioéconomique 23
II.1.4. Situation démographique de la Ville de Bukavu 24
II.2. Approche méthodologique 24
II.2.1. Enquêtes socioéconomique 24
II.2.1.1 Effectif démographique de la ville de Bukavu ---------- 25
II.2.1.2. Critère de l'échantillonnage 25
II.2.1.3. Méthodologie de détermination de l'échantillon 26
II.2.1.4. Questionnaire d'enquête et formation des enquêteurs 30
II.2.1.5. Enquête-ménage 30
II.2.1.6. Enquête auprès des entreprises de vidange 31
II.2.1.7. Dépouillement, encodage et traitement des données 31
II.2.2. Analyse physicochimique et parasitaires des boues de vidange 32
II.2.2.1. Matériels utilisés lors de prélèvements 33
II.2.2.2. Méthodes d'échantillonnage 33
II.2.2.3. Paramètres physicochimiques analysés 34
II.2.2.4. Paramètres microbiologiques analysés 37
II.2.2.4.1. Méthodologies 37
II.2.2.4.2. Matériels 38

CHAPITRE III. PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION 39

III. 1. Enquête socio-économique---------- 39
III.1.1. Caractéristiques socio-économiques des enquêtés 39
III.1.2. Gestion des boues de vidange 41
III.1.3.5. Quelques problèmes identifiés lors des opérations de vidange 59

III.2. Caractéristiques physicochimiques et parasitaires des boues de vidange 61
III.2.1. Caractéristiques physico-chimiques 61
III.2.2. Caractéristiques parasitaires 64
III.3. Situation actuelle de la gestion des boues de vidange et proposition des voies de sorties 68
III.3.1. Situation actuelle de la gestion des boues 68
III.3.2. Proposition des voies de sorties. 69

CONCLUSION GENERALE 71
Suggestions 72
Perspectives 74

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 75

Annexes 81
ANNEXE I / Latrines traditionnelles 82
Annexe II/ Quelques une des toilettes observées dans la ville de Bukavu 83
Annexe III/ Certaines pratique d'évacuation des boues de vidange 84
Annexe IV/ Questionnaire d'enquête 85

INTRODUCTION GENERALE

Dans la plupart des villes africaines, la croissance démographique galopante et la multiplication des zones d'habitations spontanées rendent le problème de la gestion des déchets solides et de l'assainissement liquides urbain particulièrement complexe. L'assainissement considéré concerne les eaux usées et excrétas produits au niveau des ménages et des lieux publics (écoles, centres de santé, marchés, gares routières, etc). Ces eaux usées et excrétas sont essentiellement composés : (i) des eaux grises, qui sont les eaux résultant de la vaisselle, du lavage des mains, des bains ou des douches, et des activités de lessive et (ii) des eaux noires ou « eaux vannes », qui comprennent les eaux issues des toilettes, chargées en urines et matières fécales (Gabert, (2018).

Dans ces mêmes villes, pour la gestion des eaux usées, on estime que plus de 85% des habitations disposent des systèmes d'assainissements équipés d'installations autonomes non raccordées à un réseau d'égout (Montangero & Strauss, 2002). Ces installations sont principalement constituées des latrines ou des fosses septiques et lorsqu'elles sont pleines, leur contenu est évacué par des camions de vidange ou des vidangeurs manuels (Defo *et al*., 2015).

Dans ces ouvrages, la collecte, le transport et le traitement des boues vidangées sont des services indispensables pour préserver le bon état sanitaire et environnemental des villes. Pourtant, ces activités sont rarement planifiées par les autorités compétentes et sont le plus souvent assurées par des opérateurs informels voire clandestins (vidangeurs manuels), amenant à des conséquences désastreuses pour l'environnement et la santé de la population. Des milliers de tonnes des boues étant déversées sans contrôle chaque jour à travers le monde, elles sont souvent l'œuvre des populations les plus pauvres qui ne peuvent pas payer un service trop cher (Strande *et al.,* 2018).

En RD Congo, la ville de Bukavu, n'échappe pas à ce problème de gestion des eaux usées et excrétas. En effet, la population de la ville ne cessant d'accroitre, est passée de 979.870 habitants en 2000 à 1316140 habitants (DPS, 2019) « Division Provinciale de Statistique ». Du fait que Bukavu utilise exclusivement des dispositifs d'assainissement autonome, de grandes quantités des boues de vidange tirées des installations sanitaires sont souvent déversées anarchiquement dans des drains d'évacuation des eaux, des cours d'eau, des espaces vagues de la ville et de sa périphérie (dans la nature) par absence d'un service d'assainissement sûr et complet.

Il est à signaler également que la gestion des boues de vidange produites dans la ville de Bukavu ne fait pas encore l'objet d'une planification par les autorités compétentes et est le plus souvent assurée par des opérateurs informels voire clandestins (vidangeurs manuels).

En outre, l'accès à l'eau potable constitue un des sérieux problèmes que connaissent les populations de la ville de Bukavu au fil du temps, surtout en période de la saison sèche. Pourtant, l'accès à l'approvisionnement en eau est un élément crucial pour assurer une chaîne d'assainissement sûr et à des fins d'exploitation (évacuation des excréta par l'eau), d'entretien et de nettoyage des installations sanitaires et de différentes parties de la chaîne de services d'assainissement, ainsi que d'hygiène corporelle et domestique (Coffey *et al*., 2014).

L'objectif général de ce travail est de mener une étude qui intègre la gestion des boues de vidange avec toutes ces composantes c'est-à-dire de l'amont (ouvrage d'assainissement au niveau du ménage) jusqu'à l'aval (traitement/valorisation des boues de vidange). La ville de Bukavu en RDC nous servira comme champ d'application.

A partir de l'objectif général, les objectifs spécifiques de la recherche sont formulés sous forme des questions et tournent autour de la gestion des boues de vidange, il s'agit de :

- Quels sont les systèmes et les modes d'assainissement pratiqués en matière de la gestion des boues vidange ?
- Quels sont les acteurs impliqués dans la gestion des boues de vidange ?
- Comment se font la vidange et le dépotage des boues ?
- Quels sont la fréquence de vidange et le prix d'une vidange?
- Quelles sont les caractéristiques des boues vidangées?

C'est en répondant à ces questions et à bien d'autres que l'on pourra se faire une idée correcte de la situation actuelle de la gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu.

Ainsi, le travail est constitué de trois chapitres, hormis l'introduction générale et la conclusion générale. Le premier chapitre traite de la gestion des boues de vidange dans les pays en développement, le deuxième explique les matériels et méthodes utilisés et, enfin, le troisième qui est le dernier chapitre présente les résultats et leur interprétation.

CHAPITRE I. GESTION DES BOUES DE VIDANGE DANS LES PAYS EN DEVELOPPEMENT

L'objet principal de ce chapitre est de faire une synthèse sur les pratiques en matière d'assainissement urbain, notamment celles liées à la gestion des boues de vidange dans des pays en développement. Il s'agit de faire un état des lieux de la gestion des boues de vidange en Afrique sub-saharienne, c'est-à-dire la chaîne d'assainissement, les caractéristiques des boues de vidange et de terminer cet exercice sur l'état des lieux de la gestion des boues dans la ville de Bukavu en RDC.

I.1. Etat d'assainissement en Afrique sub-saharienne

La gestion des boues de vidange est un domaine relativement nouveau et complexe qui est en train de se développer rapidement et de gagner en reconnaissance (Strande *et al*., 2018). Pour les pays en développement, les dispositifs d'assainissement à la parcelle sont actuellement reconnus comme des solutions viables et plus abordables, mais seulement si toute la chaîne des services d'assainissement est bien gérée de manière adéquate comme le montre la figure 1.1.

En guise de rappel, l'assainissement est l'ensemble des 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) (Gabert, (2018). Dans les lignes qui suivent, nous parlerons de l'assainissement des eaux usées et excrétas produit par des ménages urbains.

I.1.1. Assainissement liquides en Afrique subsaharienne

En Afrique, seulement 35% de la population dispose d'installations sanitaires et 62% des ménages n'ont pas accès à des installations sanitaires convenables (OMS/UNICEF, 2010). Dans ces pays, l'assainissement liquide constitue toujours un problème majeur de santé publique et un enjeu environnemental important (Tilley *et al*., 2014). Les impacts de l'assainissement des eaux usées sur le cadre de vie, la santé et le bien-être des populations ainsi que la préservation des ressources naturelles ne sont plus à démontrer. Selon Lanoix et Roy (1976), il existe une relation entre le traitement et le rejet convenable des excrétas et la propagation des maladies gastro-intestinales.

Actuellement, en Afrique subsaharienne, suite aux développements socio-économique et urbanistique et en raison des contraintes environnementales nationales et internationales, l'assainissement des eaux usées devient un facteur déterminant pour un développement durable (Bolomey, 2003). C'est aussi une composante d'Indicateur de Développement Humain (IDH) et qui fait également partie des Objectifs du Développement Durable.
Malgré cela, la plupart des grands centres urbains des pays africains sont confrontés à une réelle difficulté de gestion des eaux usées et excrétas, ce qui pose un véritable problème de santé publique dans ces villes (Mindele, 2016).

I.1.1.1. Objectifs de la filière d'assainissement

Améliorer l'assainissement ne se limite pas à la construction ou à la rénovation de latrines mais à la mise en place d'un service performant et durable, d'un bout à l'autre de la filière. Cela implique de penser à de projet dans sa globalité (en tenant compte de tous les paramètres), et d'accorder une importance particulière à l'organisation du service.
Le service d'assainissement répond à des préoccupations et à des contraintes locales qu'il convient d'analyser de manière détaillée, afin de proposer des services adéquats, durables et qui répondent à la demande. A cet effet, le Tableau 1.1 donne une information brève sur la qualité d'un bon service d'assainissement auquel un projet doit répondre.

Tableau 1.1. Objectifs des trois maillons de la filière d'assainissement

Filières d'assainissement	**Objectifs et moyens associés au maillon**	**Solutions techniques ciblées par maillon**
Maillon amont « collecte / accès »	**Objectif** : Améliorer les conditions sanitaires dans les domiciles des ménages et les lieux d'activités (collectifs, entreprises). **Moyens** : isoler les eaux usées et excrétas.	Ce maillon regroupe les technologies avec lesquelles l'usager est en contact direct. Ces technologies permettent de recueillir les eaux usées et excrétas, de les stocker temporairement et, éventuellement, de les traiter partiellement : latrines, fosses septiques, puisards, etc.
Maillon intermédiaire « évacuation »	**Objectif** : assurer la salubrité du quartier **Moyens** : évacuer les eaux usées et excrétas en dehors du quartier.	Ce maillon regroupe les technologies permettant de transporter les eaux usées et excrétas hors des lieux de production en direction des sites de dépotage et de traitement : camions vidangeurs, réseaux d'égouts, etc.
Maillon aval « traitement »	**Objectif** : réduire les pollutions. **Moyens** : traiter les effluents de manière physico-chimique et biologique (suivi d'une éventuelle valorisation).	Ce maillon regroupe les technologies permettant le dépôt des eaux usées, excrétas et boues de vidange, leur traitement pour en abattre la charge polluante et, éventuellement, leur valorisation.

Source: Monvois *et al*., 2010 ; OMS/UNICEF, 2015

I.1.1.2. Assainissement non collectif

L'Assainissement non Collectif (ANC), également appelé « assainissement autonome ou individuel» utilisé, consiste en la gestion des eaux usées et excrétas des ménages non raccordés au réseau d'égouts. Les excrétas ne sont pas évacués au fur et à mesure de leur production mais sont stockés dans une fosse /toilette. Une fois que la fosse est presque pleine, elle peut être refermée ou vidangée. La vidange pouvant être manuelle (annexe IIIc) ou mécanique (annexe IIId), les boues vidangées sont évacuées vers une station de traitement, laquelle est aménagée à l'écart des habitations (annexe IIIa) ou dans la nature

(figure 1.3.E) pour les pays en développement. Mais, cette dernière option comporte des risques sanitaire et environnemental élevés et doit être évitée dans la mesure du possible.

Dans les pays en développement, il convient de signaler que, l'ANC s'est imposé comme la forme la plus accessible aux populations urbaines et rurales. Ce système se caractérise par une quasi-standardisation des types d'installations : latrines simples, latrines à fosse ventilée de type VIP, latrine à fosse revêtue, fosses septiques. Les latrines simples, constituées par un trou de défécation, un mur de clôture et une dalle, restent très prépondérantes en raison de leur coût très abordable et de leur construction facile par les membres de la famille (annexe Ie et Id). Ce type de latrine produit des boues très compactes difficilement aspirables par un camion de vidange.

I.1.1.3. Assainissement collectif

Le réseau d'égouts est le système dit « conventionnel » d'assainissement urbain des excrétas et eaux usées ayant apparu dans les métropoles de l'Afrique subsaharienne. Les zones d'assainissement collectif sont tenues d'assurer la collecte et le transport des eaux usées et excrétas via un réseau, le contrôle des raccordements au réseau public, ainsi que l'élimination des boues d'épuration (Mahamane, 2011). Seules quelques villes capitales ont été équipées de ce système dans les quartiers centraux. A cet effet, suite à une croissance rapide de l'urbanisation et de la démographie, cette forme s'est trouvée incapable de répondre aux besoins des populations (Lorian *et al.*, 2002).

I.1.2. Gestion des boues de vidange en Afrique subsaharienne

Pour une meilleure compréhension de la filière de gestion des boues de vidange, il est nécessaire de subdiviser celle-ci en trois maillons distincts mais intimement liés : le maillon amont constitué par les ouvrages d'assainissement (collecte au niveau de ménage), le maillon intermédiaire constitué par la vidange et le transport des boues, et le maillon aval relatif au traitement ou à la valorisation des boues collectées (figure 1.1)

Les quantités de boues à évacuer sont de plus en plus importantes du fait de l'accroissement démographique, et du recours exclusif à l'assainissement autonome dans les villes des pays en développement. A titre illustratif, la quantité de boues à évacuer était estimée à 120m^3/j pour la ville de Ouagadougou selon ONEA (1993) et 300-400m^3/j pour la ville de Kumasi (Heinss *et al.*, 1998). Si on considère que chaque habitant produit environ 1 litre de boues par jour (Heinss *et al.*, 1998), les quantités à évacuer pour une ville de 1 316 000 d'habitants

comme la ville de Bukavu seraient de 1 316 m^3 par jour, soit 131,6 voyages journaliers d'un camion vidangeur de 10m^3.

Cette 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 la protection de l'environnement (échelle de la commune ou d'une ville).

La figure montre les composantes d'une filière d'ANC.

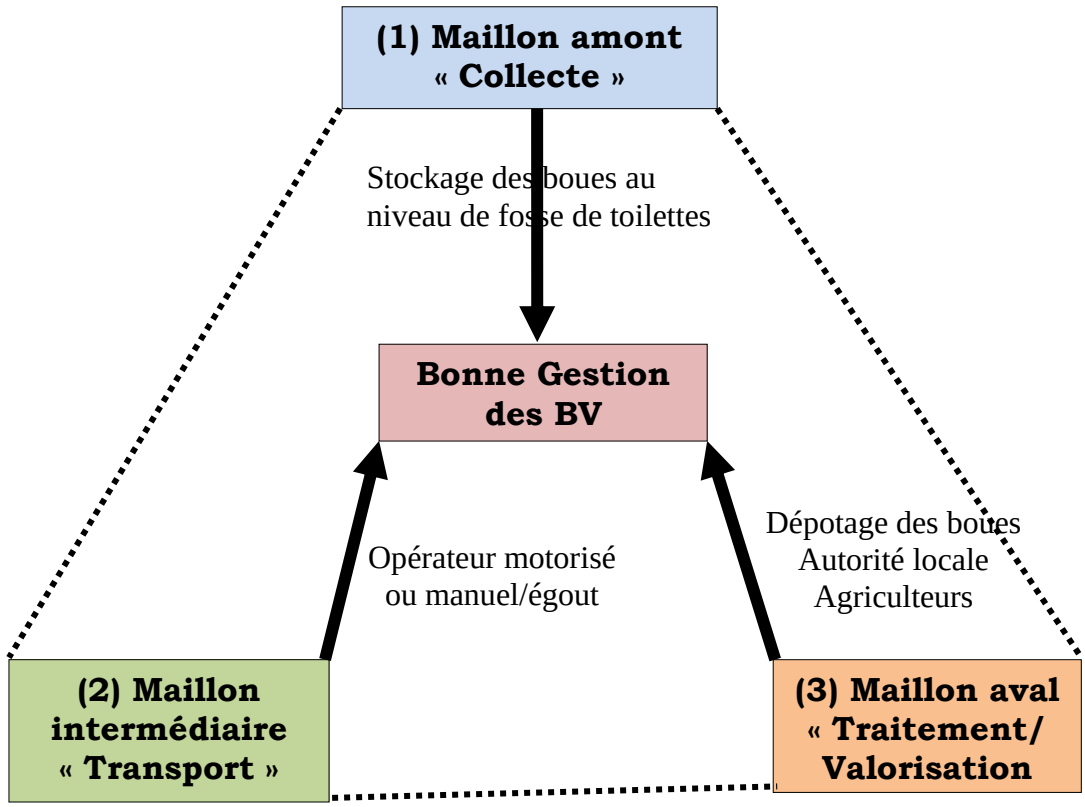


Figure 1.1. Étapes de la filière de gestion des boues de vidange

La gestion des boues de vidange doit être envisagée de manière globale, sur toute la filière, afin de protéger réellement les populations et leur garantir un cadre de vie sans contamination par les matières fécales. Si l'un des maillons (décrit dans la figure 1.1) échoue à remplir son rôle, l'efficacité de toute la filière est remise en cause. Or, l'évacuation et le traitement des boues fécales sont très souvent délaisser ou oubliés par certains pays en développement. Outre le fait qu'il faut travailler sur tous les maillons, il est important de veiller à ce que chacun d'entre eux soit correctement géré et ne conduise pas à des risques sanitaires et environnementaux.

I.1.2.1. Maillon amont : ouvrages de stockage des excrétas

Le maillon amont comprend l'ensemble de différentes technologies permettant de recueillir la totalité des eaux usées domestiques générées au niveau du ménage (entreprise), de les

stocker temporairement dans la fosse (assainissement non collectif) ou à les introduire dans un réseau d'égouts (assainissement collectif) et éventuellement de les traiter partiellement (Gabert, 2018).

Les équipements correspondant à ce maillon, sont principalement: les toilettes, les douches, les différents types des fosses, latrine simple à fosse non maçonnée, latrine à fosse ventilée, toilette sèche à déviation d'urine, toilette moderne à chasse d'eau reliée à une fosse simple, à une fosse septique ou à un réseau, etc (Figures 1.2). Leur rôle s'inscrit dans la logique de l'amélioration des conditions sanitaires au sein des ménages.

Pour illustrer les ouvrages de stockage d'eaux usées, la figure 1.2 reprend certaines technologies utilisées en maillon amont dans les pays en développement.

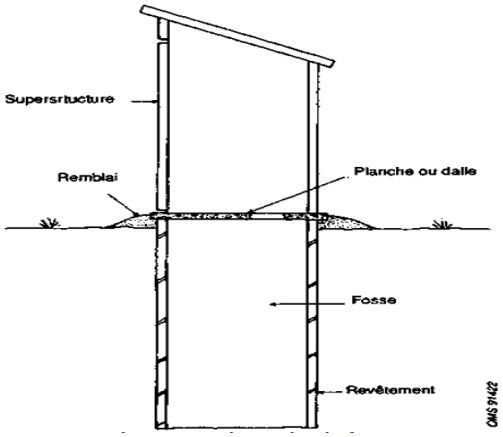


Schéma d'une latrine à simple fosse (Franceys *et al.*, 1995)

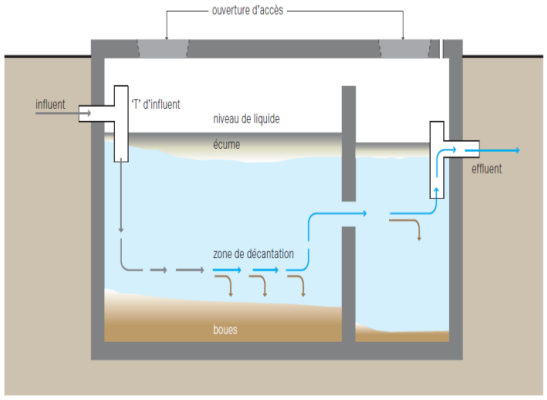
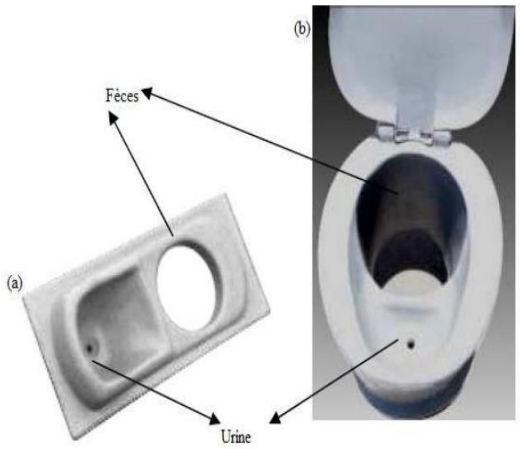
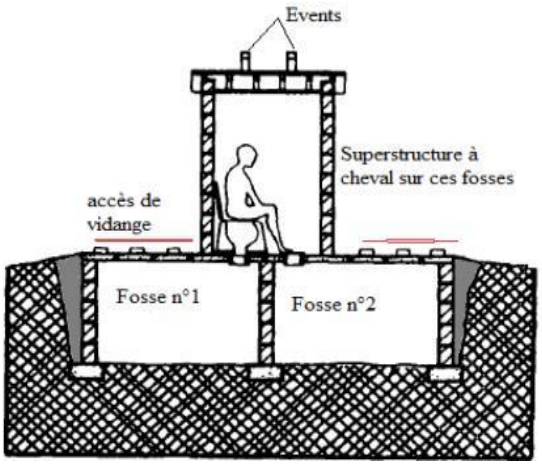


Schéma d'une fosse septique (Tilley *et al.*, 2008)



Latrine avec déviation d'urine (a), cuvette de toilette (b) (Langergraber & Muellegger, 2005)



Latrine VIP à double fosse (Kalbermatten *et al.*, 1980)

Figure 1.2. Ouvrages de stockage d'eaux usées

I.1.2.2. Maillon intermédiaire : vidange et transport des boues

Le maillon intermédiaire de l'ANC consiste à répondre à la question suivante : que faire une fois l'ouvrage d'assainissement est plein ? Ici, deux alternatives se présentent : soit le ménage peut combler la fosse et creuser une nouvelle fosse, soit il peut procéder à la vidange des boues.

La première alternative «creuser une nouvelle fosse » s'il y a assez d'espace, reste avantageuse du moment qu'elle limite le contact avec les excrétas et que ces derniers pourront rester définitivement enterrés dans le sol. Mais, dans certaines conditions, elle présente des inconvénients tels que :

- le risque de contamination des eaux souterraines dans le cas d'une nappe peu profonde ou d'un sol très perméable ;
- le manque à gagner en enterrant un produit ayant des potentialités d'être converti en une ressource qu'on pourrait valoriser en produisant de l'énergie et de l'engrais organique pour la fertilisation des champs.

Signalons également que le manque d'espace pour la construction d'une nouvelle fosse, comme c'est le cas dans les villes des pays en développement où la densité de la population est élevée, place cette alternative parmi les options à risque et devrait par conséquent être abandonnée au profit de la vidange. Gabert (2018), constate par ailleurs que creuser une nouvelle fosse revient plus cher que vidanger la fosse et continuer à l'utiliser.
Quant à la deuxième alternative, celle de « vidange d'une fosse », mentionnons que dans les pays en développement, trois options technologiques sont actuellement utilisées. Il s'agit de la vidange mécanique, de la vidange semi-mécanique et de la vidange manuelle.
L'objectif principal de toute vidange est de préserver la salubrité urbaine (Koné *et al*., 2016) toute en assurant une évacuation hygiénique des boues vers un site de dépotage autorisé permettant un bon état sanitaire et une protection de l'environnement.

- **Vidange manuelle**

La vidange manuelle est sujette à beaucoup de défis car l'évacuation des boues ne peut être réalisée loin des latrines. Les vidangeurs manuels se servent de seaux et de pelles, et descendent eux-mêmes dans les fosses pour vider à la main, sans protection particulière (Figure 1.2-F). Ils travaillent principalement dans les zones où la vidange motorisée est considérée comme trop chère ou bien quand l'accès pour les camions est limité. Pour cette

vidange, il est rarement possible d'entreposer les boues en toute sécurité dans le quartier même, d'où l'importance de créer le lien avec les opérateurs motorisés.

Une solution consiste à mettre en place des stations de transfert (ou réservoirs enterrés, Tilley *et al.*, 2014) (Figure 1.2-B) qui soient à la fois accessibles aux camions de vidange et proches des zones d'intervention des vidangeurs manuels. Les équipements de transport manuel doivent alors leur être fournis pour qu'ils puissent facilement y amener les boues. Ces réservoirs peuvent être gérés par les vidangeurs motorisés comme n'importe quel dispositif d'assainissement à la parcelle. Leur vidange devrait alors plutôt être financée par les communautés ou les autorités municipales.

Koanda (2006), Strande *et al*., (2018) et Koné (2016) soulignent que, pour des raisons essentielles suivantes, les vidangeurs manuels se sont imposés dans certaines villes africaines :

- La première cause est liée à l'inorganisation de l'activité de vidange par les mairies. En effet, dans aucune ville, selon les mêmes auteurs, il n'est exigé de remplir des formalités administratives particulières (déclaration, enregistrement, agrément ou licence) pour mener cette activité. Le manque de politique rigoureuse d'aménagement et de planification de la ville a pour conséquence de créer des bidonvilles où les services de base (eau potable, assainissement) sont inexistants. Les populations ont alors recours à des latrines sans ou hors normes qui ne peuvent être prises en charge que par les opérateurs informels qui s'adaptent à toutes les demandes ;
- La deuxième cause est la promotion à large échelle de l'assainissement autonome sans planification de la vidange des latrines. Les services publics en charge de cette activité ont vite montré leurs limites et leurs incapacités à répondre à une demande de plus en plus élevée et segmentée. Cela a constitué une opportunité pour les opérateurs informels d'investir dans la filière de la collecte des boues ;
- La troisième cause est relative à la conception des latrines et aux modes d'utilisation de celles-ci par les populations qui rendent les boues non aspirables par les camions vidangeurs. Le manque d'espace pour reconstruire de nouvelles latrines conduit les ménages à recourir aux services des vidangeurs manuels ;
- La quatrième cause est le faible taux d'accès du service de vidange mécanique aux ménages à revenus modestes ou habitant les quartiers pauvres. Les tarifs élevés de la vidange mécanique, l'étroitesse des rues, les pannes fréquentes et l'inexistence de

camions dans certaines villes sont autant des facteurs favorables aux vidangeurs manuels.

La littérature disponible montre que la vidange manuelle est pratiquée à70% par des ménages de la commune d'Ouahigouya (Kengne *et al.*, 2009), 28% pour la ville de Kibera (WSP, 2005), 33% pour la commune de Sam Notaire (Kassa Mvoubou, 2004), 22 à 32% pour la ville de Dakar (CREPA, 2002), 58% pour la ville de Brazzaville (Thye et al., 2009).

- **Vidange semi-mécanique**

Le principe de la vidange semi-mécanique est qu'une force manuelle est appliquée mais un mécanisme enlève les boues (Figure 1.2-A). La vidange semi-mécanique reste néanmoins bénéfique quand les boues sont dépotées à une faible distance de 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.

Certaines motivations sont à la base de cette technologie de vidange telles que : la réduction de la dépendance énergétique utilisée en vidange mécanique, la diminution des risques de blocage de la pompe étant donné qu'il n'y a pas de contact entre cette dernière et les boues vidangées, la résolution des problèmes d'accessibilité rencontrés en vidange mécanique où les camions de grand calibre ont des difficultés de passer dans des ruelles qui se rencontrent dans les quartiers non planifiés des pays en développement, l'utilisation des outils faciles à maintenir localement et, enfin, permettre une vidange à un prix abordable comparativement à la vidange mécanique jugé chère (Muller et Rijnsburger, 1988 ; Thye *et al.*, 2009).

Les technologies utilisées en vidange semi-mécanique sont entre autres MAPET (Manual Pit-latrine Emptying Technology) développé en Tanzanie et à Nairobi (Kenya), Gulper testé également en Tanzanie, Nibbler et Gobbler utilisées en Afrique du sud (OřRiordan, 2009 ; Thye *et al.*, 2009).

- **Vidange mécanique**

La vidange mécanique consiste en une technologie qui utilise des engins munis d'un moteur pour fournir la puissance requise afin de tirer les boues se trouvant dans la fosse (Figure 1.2-D). Cette technologie fait appel à ce qu'on appelle communément les camions vidangeurs. Les boues extraites mécaniquement sont transportées et déchargées jusqu'à plusieurs kilomètres des habitations (Rehacek, 1996 ; Savadogo, 1999 ; CREPA, 2002 ; Klutsé *et al.*, 2004 ; Koanda, 2006).

Le Tableau 1.2 montre les avantages et désavantages de chaque mode de vidange

Tableau 1.2. Avantages et désavantages des modes de vidange des boues (Bigumandondera, 2014)

Vidange	Avantage	Désavantage
Vidange manuelle	-moins chère, -n'exige pas de compétences particulières, -possible dans les quartiers non planifiés à accessibilité limitée	-risques sanitaires élevés pour les vidangeurs et les habitants de la parcelle, - risques de pollution des eaux de surface et ou souterraines (dépotage incontrôlé) - gêne olfactive intense, - démolition de la dalle et ou de la superstructure pour vidanger, -exige beaucoup de temps, - métier dégradant pour les vidangeurs, -dépotage clandestin des boues.
Vidange semi-mécanique	-Moins chère que la suivante, moyennement rapide, -possible dans des quartiers non planifiés avec des ruelles, -pas de contact avec les boues au moment de la vidange	-nécessite une station de transfert sinon, il y a risque de dépotage clandestin, - exigent du temps comparativement à la précédente, - odeurs
Vidange mécanique	-Rapide, -Hygiénique, -pas de contacts avec les boues, -odeurs minimisées pendant la vidange, -n'exigent pas de station de transfert si le site n'est pas trop éloigné.	-Cher, -pas possible si les routes d'accès au ménage sont étroites/ ou n'est pas bien aménagées.

Il faut noter que la filière de vidange et de transport des boues de vidange est confrontée à de multiples obstacles dont les plus importants sont :

- l'étroitesse des rues et le mauvais emplacement des latrines dans les concessions rendent la vidange impossible pour les camions de vidange ;
- la méconnaissance des quantités de boues à évacuer à l'échelle de la commune limite l'efficacité de la planification locale ;
- le manque de sites de dépotage aménagés contraint les vidangeurs à parcourir de longues distances à la recherche d'un endroit approprié ou à décharger en périphérie immédiate des villes ;
- le manque de réglementation spécifique à l'activité de vidange occasionne dans certains cas des conflits entre les parties prenantes (paiement d'amendes par les vidangeurs manuels pour les cas de déversement de boues dans les rues sans aucune sanction des ménages ayant sollicité le service, raquette).

Dans la plupart des villes des pays en développement, les sites aménagés pour le stockage des boues n'existent pas du tout. Les vidangeurs ont alors la latitude de déverser les boues à n'importe quel endroit au mépris de toute précaution de protection des populations riveraines et du milieu récepteur (Figure 1.2-E).

Face à cette problématique évoquée, des approches décentralisées ont été développées pour fractionner le processus de transport en deux étapes, respectivement qualifiées de « transport primaire » et « transport secondaire » (Defo *et al.,* 2015).

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 (Tilley *et al*., 2014).

Les images de la Figure 1.3 illustrent la gestion appliquée aux boues de vidange dans les pays en développement.

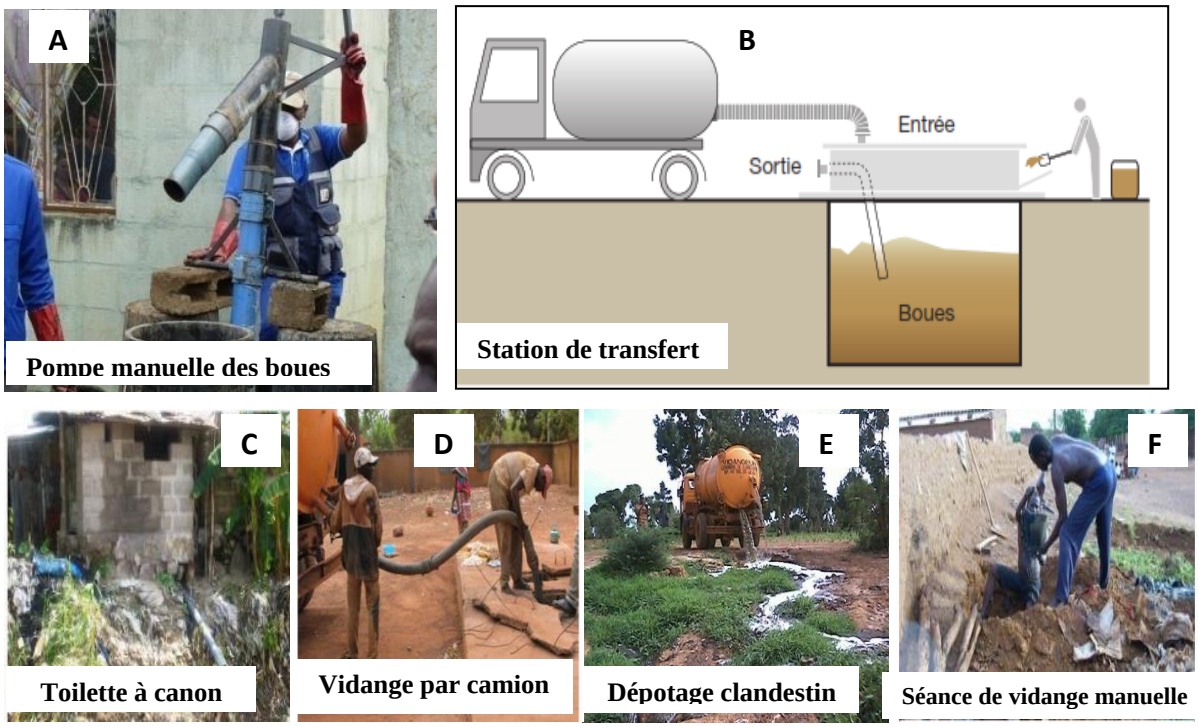


Figure 1.3. Illustration de la gestion des boues de vidange en Afrique subsaharienne
(A et B : Strande *et al.*, 2018) ; C et F : Koanda, 2006) et (D et E : Koné et Strauss, 2004)

I.1.2.3. Maillon aval : traitement des boues

Le traitement parait comme un maillon « faible » de la gestion des boues de vidange. En effet, à l'inverse de la vidange et du transport, les initiatives de traitement des boues de vidange sont très limitées. Le financement et la gestion d'une station de traitement sont des opérations hautement plus complexes et chères que la vidange des latrines.

En plus, des coûts élevés d'investissement et d'exploitation (Strauss and Montangero, 2002 ; Steiner *et al.*, 2002), freinent souvent la réalisation des unités de traitement. Les boues de vidanges sont des matières extrêmement concentrées et biochimiquement instables. Selon Koné et Strauss (2004), les concentrations des substances polluantes contenues dans ces matières sont 10 à 100 fois plus élevées que dans les eaux usées municipales.
Le Tableau 1.3 présente quelques caractéristiques des boues de vidange en comparaison avec celles des eaux usées des pays tropicaux.

I.1.2.4. Choix d'un site de dépotage ou de traitement

Les deux points clefs dans le choix d'un site de dépotage sont la distance depuis le lieu de vidange jusqu'au site de dépotage et l'accessibilité. Si le site choisi est situé trop loin des ouvrages vidangés ou peu accessible, les vidangeurs risquent de dépoter les boues sur les

lieux inappropriés. Les entreprises de vidange et les chauffeurs des camions sont très sensibles au temps et au coût du transport. Le transport de volumes de boues relativement faibles (5 à 10 m^3 par camion) sur les routes embouteillées de grandes agglomérations et sur de longues distances n'est pas rentable. Un site trop éloigné impliquera un nombre de rotations par jour moindre, moins de recettes et plus de coûts de carburant pour le vidangeur. Les tarifs pour la vidange seront donc revus à la hausse pour permettre le même bénéfice au vidangeur, ce qui est susceptible de décourager les ménages à recourir à ce service et de les obliger à se tourner vers des pratiques informelles et non-hygiéniques (Strande *et al.,* 2018).

I.1.2.5. Caractérisation des boues

Classiquement, les paramètres de caractérisation des boues de vidange sont : les matières en suspensions, la demande chimique en oxygène pendant 5 jours (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO_5), les nutriments et les germes pathogènes. Le Tableau 1.3 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. Une comparaison avec les boues d'épuration est également montrée dans ce Tableau 1.3.

La variabilité des caractéristiques des boues de vidange observée (Tableau 1.3) est liée à plusieurs facteurs, notamment :

- Utilisation de toilettes ;
- Durée de stockage ;
- Mode de vidange ;
- Débit entrant et infiltration ;
- Climat.

Selon Strauss *et al.,* (2006), la détermination des caractéristiques locales des boues de vidange en amont de la conception d'un site de traitement permettraient de réduire considérablement le coût d'investissement de la station. Cela illustre combien il est important de déterminer les caractéristiques locales des boues de vidange préalablement à la conception des installations de traitement.

Tableau 1.3. Caractérisation de boues de vidange de dispositifs d'assainissement à la parcelle et de boues d'épuration, rapportées par la littérature (Strande *et al.*, 2018)

Paramètres	Boues de Vidange		Boues d'Epuration	Références
	TP	FS		
pH	1,5 à 12,6			USEPA (1994)
	6,55 à 9,34			Kengne *et al*., (2011)
MS (mg/L)	52.500	12.000 à 3.500		Koné et Strauss (2004)
	30.000	22.000		NWSC (2008)
		34.106		USEPA (1994)
	≥ 3,5 %	≥ 3 %	≥ 1 %	Heinss *et al*., (1998)
MV (en % MS)	68	50 à 73		Koné et Strauss (2004)
	65	45		NWSC (2008)
DCO (mg d'O_2/L)	49.000	1.200 à 7.800		Koné et Strauss(2004)
	30.000	10.000	7 à 608	NWSC (2008)
	20.000 à 50.000	< 10.000		Heinss *et al*., (1998)
DBO (mg d'O_2/L)	7.600	840 à 2.600		Koné et Strauss (2004)
	-		20 à 229	NWSC (2008)
Azote total, (mg/L	-	190 à 300		Koné et Strauss (2004)
	-		32 à 250	NWSC (2008)
Azote Kjeldahl (mg/L)	3.400	1.000		Katukiza *et al*., (2012)
Azote ammoniacal, N-NH_4 (mgr/L)	3.300	150 à 1.200		Koné et Strauss (2004)
	2.000	400	2 à 168	NWSC (2008)
	2.000 à 5.000	< 1.000	30 à 70	Heinss *et al*., (1998)
Nitrates, NO_3 (mgN/L)		0,2 à 21		Koottatep *et al*., (2005)
Phosphore total, P T (mg P/L)	450	150	9 à 63	NWSC (2008)
Coliformes fécaux (cfu/100mL)	1 x 10^5	1 x 10^5 $3{,}2x10^5$	6,3 x 10^4 6,6 x 10^5	NWSC (2008) Martine *et al.*, (2016)
Œufs d'helminthe (nombre/L)	2.500	4.000 à 5.700		Heinss *et al*., (1998)
	20.000 à 60.000	4.000	300 à 2.000	Heinss *et al*., (1998)
		600 à 6.000		Ingallinella *et al*., (2002)
		16.000		Yen-Phi *et al*., (2010)

FS : Fosse septique ; **TP** : Toilettes publiques

I.2. Cas de l'assainissement en RD Congo

La RDC, conformément aux ODD « Objectifs de Développement Durable », dont celui de « garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau **»**, est signataire de la Déclaration d'eThekwini qui prévoit que 0,5 % du PIB soit consacré à l'assainissement (UNEP, 2013).

Concrètement, les avancées du pays relatives à l'accès à l'eau et à l'assainissement de base ont consisté en la mise sur pied des outils suivants: la politique nationale de l'eau, le plan national de développement sanitaire 2011-2015, le code de gestion des ressources en eau, la feuille de route du secteur de l'eau 2011-2020, l'inventaire des ouvrages d'eau et d'assainissement en 2011 dans le cadre de l'étude du plan directeur d'alimentation en eau potable et assainissement (AEPA) en milieu rural et semi-urbain, le plan national d'AEPA en milieu rural et semi-urbain à l'horizon 2015 dans le cadre de l'étude du plan directeur d'AEPA en milieu rural et semi-urbain, la stratégie nationale de développement de l'assainissement en milieu rural et périurbain, la politique nationale de l'assainissement qui reste malheureusement non appliquée (UNEP, 2013).

En RDC, le domaine "Eau-Hygiène-Assainissement" (EHA) est structuré du sommet à la base suivant cet ordre (UNEP, 2013) :

- L'Etat qui ambitionne de se dégager de ses responsabilités opérationnelles afin de conférer de larges compétences aux entités territoriales décentralisées (ETD) mais garde les tâches de coordination par le truchement de ses branches spécifiques, dont le comité national pour "eau, hygiène et assainissement" (CNEHA) qui s'occupe de la coordination du secteur, et les ministères verticaux dans ce domaine ;
- La province qui comprend des responsabilités qui consistent en l'élaboration des édits et du programme provincial d'assainissement, le renforcement des capacités, la mobilisation du financement, la mise en œuvre de la politique nationale ;
- Les entités territoriales décentralisées (ETD) qui comprennent la ville (agglomération de plus de 100 000 habitants), la commune (agglomération d'au moins 20000 habitants), le secteur ou la chefferie en milieu rural.

I.2.1. Accès à l'assainissement en ville de Bukavu

Quoique très maigres et non-efficaces, dans la ville de Bukavu, une ville de l'est de la RDC, officiellement, les travaux d'assainissement sont accomplis par les acteurs appartenant aux structures publiques et privées.

Selon Ngahane (2015) et Wethé *et al.,* (2003), la gestion des déchets solides se caractérise par la coexistence de trois filières que nous remarquons dans la ville Bukavu. La première « ***traditionnelle*** » consiste au stockage des déchets dans des tas d'ordures devant la concession. A partir des tas, les ordures sont incinérées ou transférées au champ ou à la décharge. Elle est prédominante dans les quartiers ruraux et traditionnels. La seconde « ***associative par abonnement*** », elle propose aux ménages de stocker les ordures dans des fûts ou poubelles vidées par une association/entreprise. Dans la ville, nous retrouvons AGROUNI Congo (organisation privée) et un nombre d'associations de développement s'occupant de ramassages des déchets contre paiement d'une redevance mensuelle d'un montant variant de 5000 à 10000 Fc (francs congolais) selon les classes sociales (standing).
Ainsi, les déchets collectés sont transférés directement dans une décharge autorisée et non aménagée sans traitement quelconque. La troisième « ***bacs publics*** » comprend les dépotoirs sauvages ou publics. Ces lieux reçoivent les déchets apportés volontairement par les ménages et les déchets de balayage des rues de la ville. Souvent ces déchets sont brûlés ou transférés vers un site ou une décharge sur proposition de la mairie.

Quant à l'assainissement liquide, les eaux usées provenant de la lessive, des douches, des cuisines sont généralement déversées dans les rues, ou un coin de la cour ou encore dans des caniveaux d'une part et dans des canaux à ciel ouvert d'autre part. L'entretien des canaux, réalisé ponctuellement par l'OVD avec l'appui des ONG, reste non satisfaisant.
La plupart de travaux de l'OVD (Office de Voirie et Drainage) se réalisent dans le cadre de la voirie, et mettant à côté les travaux d'assainissement dont l'état des ouvrages paraît sous-dimensionné, mal géré et incapable de supporter les eaux résiduaires à évacuer (Lina, 2016).

I.2.2. Alimentation en eau potable de la ville

En dépit de la disponibilité des ressources en ESO ou ESU, les populations accèdent difficilement à l'eau potable. Le manque des structures adéquates de captage, transport, l'explosion démographique, la situation économique de la population et le traitement d'eau pourraient expliquer cette situation. En outre, la topographie de la ville dominée par des escarpements et des montagnes ne facilite pas l'accès à la ressource. L'approvisionnement de

la ville en eau potable est assuré par la société nationale de production, distribution et commercialisation de l'eau (REGIDESO) à partir de trois types de ressources : la rivière Murhundu, le lac Kivu ainsi que la source de Ciriri.

La production totale varie en fonction des saisons que connaît la ville en saison de pluie, la production est environ 27 000 m³ par jour, dont 40% (soit 10.800 m³) se perdent avant d'arriver chez les consommateurs et, en saison sèche, la production est autour de 22 000 m³ par jour (dont environ 8.800 m³ sont perdus) (Lina, 2016). Ce faible rendement ne permet pas donc d'approvisionner tout le réseau, ce qui conduit à des ruptures intempestives d'approvisionnement (communément appelées délestages), et qui s'aggravent en saison sèche. Durant cette période de pénurie (saison sèche), la population est obligée de chercher n'importe quelle source d'approvisionnement sans tenir compte des effets pathologiques.

I.2.3. Situation générale de la gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu

La réussite de l'assainissement non collectif passe inévitablement par une maîtrise des trois maillons de la chaîne (expliquées précédemment) qui constitue la filière d'ANC. L'absence des lois régissant l'assainissement non collectif dans la ville, ainsi que le manque d'accompagnement du point de vue financier et technique par les services publics dans ce domaine font que les ménages deviennent les seuls responsables de l'organisation et de la gestion des BV au niveau de leurs parcelles. Dans cette ville, l'assainissement non collectif est en relation directe avec le statut foncier, le type d'approvisionnement en eau dont dispose le ménage, la densité de la population, le niveau d'aménagement de la voirie, l'espace disponible dans la parcelle (réservé à l'assainissement), la nature du sol, les catégories sociales des ménages sans oublier la disponibilité ou non des services de vidange des boues ainsi que l'aménagement et la maintenance des sites de dépotage et traitement de ces boues.

En ce qui concerne les boues de vidange, la production est énorme et sa gestion pose problème. La gestion des eaux usées et excrétas reste préoccupante dans cette ville et ne semble intéresser aucunement les autorités.

Une fois de plus, il n'existe pas de statistiques sur le volume des boues de vidange produites quotidiennement dans la ville de Bukavu et qui polluent l'environnement.

I.2.3.1. Acteurs intervenant dans la gestion des boues

La gestion efficace des boues de vidange implique une interaction entre diverses personnes et organisations publiques, privées et organisation non gouvernementale à chaque étape de la filière, depuis l'utilisateur des toilettes au niveau domestique à l'utilisateur final des boues traitées, en passant par les entreprises de collecte et de transport ainsi que l'exploitant des stations de traitement.

I.2.3.1.1. Ménages

La production et le stockage des boues ont lieu au niveau domestique, ce qui fait du ménage l'élément principal des variations qualitatives et quantitatives des boues à traiter. Les ménages sont donc les premiers acteurs dans la gestion des boues de vidange ; ce sont eux qui décident de l'ouvrage de stockage à installer, qui constatent que l'ouvrage nécessite une vidange et font appel aux vidangeurs. Ils sont également responsables de l'entretien et veillent au bon état de l'ouvrage de stockage des boues.

I.2.3.1.2. Entreprises privées

Les entreprises de vidange disposent des engins destinés à vidanger et transporter les boues depuis les domiciles des ménages jusqu'au site de dépotage ou de traitement. Leur rôle est de fournir un service de qualité conformément au contrat signé avec les ménages au moment de la vidange. Dans la ville de Bukavu, il n'existe pas d'entreprises privées œuvrant dans la gestion des boues de vidange.

I.2.3.1.3. Pouvoirs publics

Les pouvoirs publics designent tout organisme de l'etat chargé de faciliter la gestion des boues de vidange. Ils ont le rôle de favoriser le cheminement de toute la quantité vidangée vers le sité dedié à cet effet en faisant payer le moins cher posssible la taxe de dépotage. L'autre rôle dedié à ces pouvoirs est de pérenniser le bon fonctionnement du site de dépotage**.**

I.2.3.1.4. Vidangeurs informels des boues

La crise économique qui frappe le pays depuis plusieurs décennies a accentué la pauvreté des congolais. Cette situation a favorisé l'émergence du secteur informel surtout dans le milieu urbain où les conditions de subsistance et de survie sont extrêmement difficiles. Les vidangeurs informels sont donc toutes ces personnes exécutant l'opération de vidange des boues sans qu'elles soient connues ou enregistrées par l'autorité publique.

I.2.3.2. Les risques sanitaires associés aux boues de vidange

Les boues de vidange contiennent des concentrations élevées en germes pathogènes ou « microorganismes » principalement en provenance des fèces (Bouhoum *et al.*, 1997 cités par Bolomey, 2003). Ces microorganismes peuvent être pathogènes. L'exposition aux boues de vidange non-traitées constitue donc un risque important pour la santé humaine, que ce soit par contact direct ou exposition indirecte. Les boues de vidange doivent être traitées avec un niveau de désinfection adapté au mode de réutilisation ou à la mise en dépôt prévue. Les voies d'exposition sont en effet très différentes pour des boues traitées déversées dans l'environnement ou utilisées dans l'agriculture (Strande *et al.,* 2018).

Dans les fosses septiques et les latrines, la couche supérieure de matière fécale contient plus d'organismes pathogènes. Les œufs de nématodes (Ascaris et Ancylostoma), ont une période de latence de quelques semaines. Par conséquent, les matières fécales ayant séjourné pendant quelques semaines contiennent des nématodes infectieux (Bassan *et al*., 2013). Les vidangeurs de même que les populations en contact avec les eaux contaminées sont exposés à des risques potentiels considérables.

CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES

II.1. Description de la zone d'étude

II.1.1. Situation géographique et administratif

Localisée par les coordonnées 2° 31’ de latitude Sud et 28° 50’ de longitude Est, la ville de Bukavu, chef-lieu de la Province du Sud-Kivu, est située à l’Est de la République Démocratique du Congo, et est séparée du Rwanda par le lac Kivu (1460 m d’altitude) et la rivière Ruzizi Moeyersons *et al*., (2003). Elle possède une superficie de 63 km² dont 43 km² de terre ferme et 20 km² occupés par le lac. Administrativement, elle est subdivisée en trois communes : Ibanda, Kadutu et Bagira. Elle est limitée au nord par le lac Kivu, à l'ouest par la rivière Nyamuhinga qui constitue sa frontière avec le territoire de Kabare, et au sud par le groupement de Mudusa en territoire de Kabare et à l'est par la rivière Ruzizi. Elle est bâtie sur un relief accidenté Chamaa *et al*., (1981) cité par Lina, 2016. La figure 2.1 présente la ville de Bukavu qui constitue la zone d’étude.

Selon Schmid *et al*., (2003), le lac comprend une superficie de 2.700 km² et 560 km³ de volume avec une profondeur 485m où est stockée une quantité importante de gaz méthane (60 km³) et le gaz carbonique (250 km³).

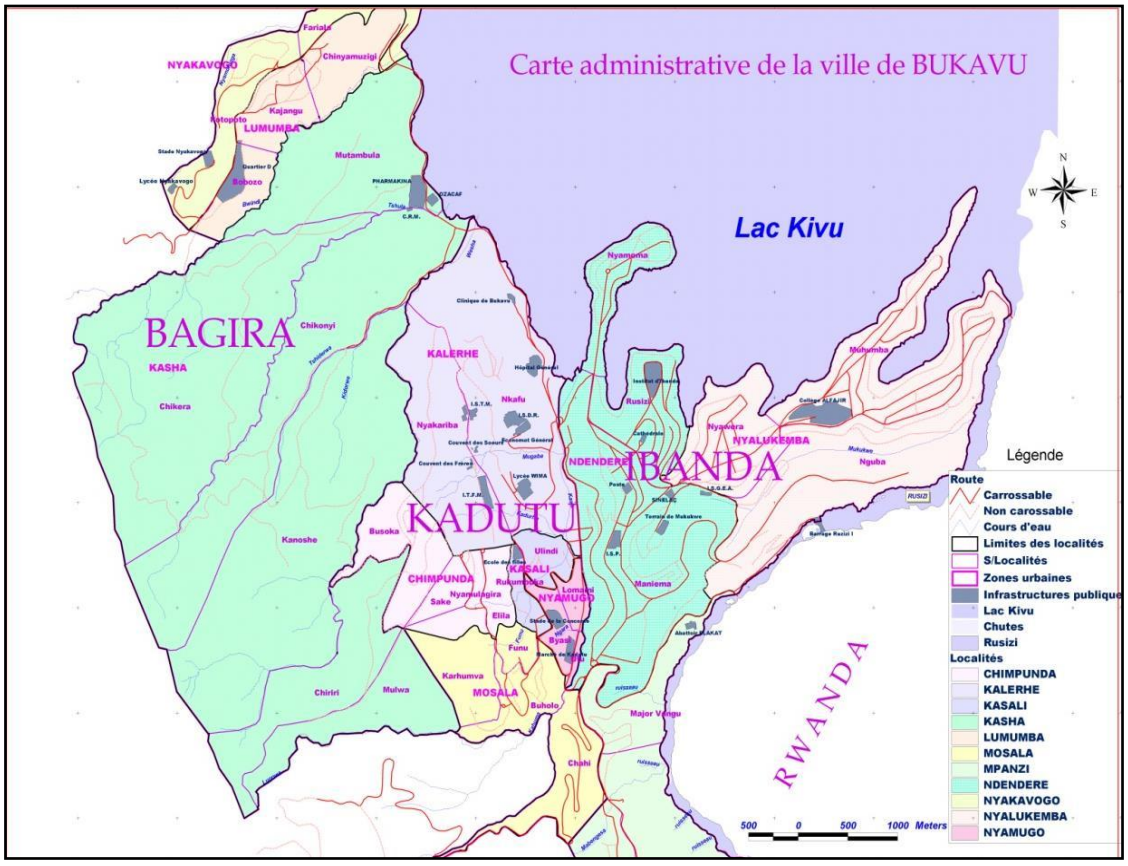


Figure 2.4. Carte administrative de la ville de Bukavu

Sur le plan climatique, la ville de Bukavu connaît une alternance de deux saisons (humide et saison sèche). Les moyennes mensuelles sont de 19,2 °C pour la température et 109,5 mm pour les précipitations. De par sa latitude (2° 30' sud), la ville de Bukavu ferait partie normalement des contrées sous climat équatorial avec des caractéristiques suivantes : températures constantes et régulières (25 °C comme moyenne annuelle, faibles amplitudes thermiques d'ordre de 5 °C ou moins), courte saison sèche (maximum 3 mois).

Sur le plan urbanistique, la ville de Bukavu a été créée en 1958 par l'ordonnance n° 12/357 du 06 septembre 1958 créant les villes de Bukavu, Stanleyville, Coquilathville et Jadoville. Elle comprend 3 Communes : la Commune de Bagira formée de 3 quartiers (Kasha, Lumumba et Nyakavogo), la Commune d'Ibanda composée de 3 quartiers (Ndendere, Nyalukemba et Panzi) et celle de Kadutu qui comprend 7 quartiers (Cimpunda, Kajangu, Kasali, Mosala, Nkafu, Nyakaliba et Nyamugo) (Figure 2.4).

II.1.2. Historique de la création de la ville de Bukavu

Bukavu est une appellation qui vient de la transformation du mot 'bu'nkafu' signifiant ferme des vaches. Selon la légende locale les vaches émergeaient à l'actuel emplacement de la SNCC, des eaux du lac Kivu en provenance du Rwanda.

La ville de Bukavu a été fondée en 1900 par l'inspecteur d'Etat Paul COSTERMANS sur décision du Ministre des colonies et fut occupée par les autorités coloniales belges sous l'appellation de COSTERMANSVILLE en l'honneur du fondateur.

Par l'arrêté royal du 05 février 1935, elle fut rebaptisée Costermansville (ou Costermansstad en néerlandais) et après une consultation auprès des 'Européens', les autorités coloniales lui rendirent son ancienne appellation et redevint donc Bukavu (Chamaa & Ndagiriyehe, (1981). Bukavu sera reconnu en 1925 comme chef-lieu du district du Kivu dont la capitale était Rutshuru. Son transfert à Bukavu était dans le souci de satisfaire la population européenne qui y était devenue nombreuse.

II.1.3. Aspect socioéconomique

Les problèmes fondamentaux de la ville de Bukavu comprennent celui des infrastructures routières, celui de la multiplicité de taxes (problèmes politiques) suivi de celui de l'électricité, qui freine souvent l'éclosion des activités économiques. Des usines de transformation, bien qu'en petit nombre existent, comme la BRALIMA (société brassicole), la PHARMAKINA (fabrication des produits pharmaceutiques), GINKI (Matelas) privée.

Certaines usines sont aussi paralysées suite aux multiples problèmes (politique, le courant électrique non stable, etc) du pays, comme la Cimenterie de Katana, la sucrerie de Kiliba, la théérie de Mbayo à Kabare.

II.1.4. Situation démographique de la Ville de Bukavu

Depuis environ deux décennies, cette ville est en proie à l'afflux énorme de population, causé par l'instabilité politique qui sévit dans la région et territoires, occasionnant l'exode rural chronique, en réponse à l'insécurité entretenue des rebellions qui écument la région du Kivu. Cette dynamique démographique ne fait qu'aggraver les dangers d'instabilité des versants par la dégradation de la végétation, la construction anarchique, la production des déchets, et, à cet effet, augmenter les risques pour la population déjà vulnérable. Actuellement, l'effectif démographique de la ville est estimé à 1 316 140 (Tableau 2.4) habitants selon la Division Provinciale de Statistique (DPS, 2019).

II.2. Approche méthodologique

La méthodologie mise en œuvre pour évaluer la gestion des boues de vidange produites en ville de Bukavu comporte sur deux composantes majeures, à savoir l'enquête socioéconomique et l'analyse physico-chimique et parasitaires des boues de vidange.

II.2.1. Enquêtes socioéconomique

Les enquêtes structurées au niveau des ménages sont une méthode systématique de collecte de données, qui permet d'obtenir des données de sources différentes qui puissent être comparées et analysées de manière quantitative (par exemple par des analyses statistiques). Enquêter au niveau domestique est intéressant pour évaluer les pratiques, la perception, l'état réel de l'assainissement ; les données qui y sont collectées permettent aussi de quantifier et de caractériser les boues de vidange.

Enfin, la représentativité de l'échantillon est une question majeure dans les enquêtes. Les ménages sont probablement très différents entre eux, par exemple en termes de classe sociale, d'origine culturelle, de statut d'occupation (locataire ou propriétaire), en zone formelle ou informelle. La littérature des sciences sociales fournit les éléments pour construire une enquête représentative (Groves *et al.*, 2009).

II.2.1.1 Effectif démographique de la ville de Bukavu

Le Tableau 2.4 représente l'effectif démographique de la ville de Bukavu (Commune d'Ibanda, de Kadutu et de Bagira) dans laquelle l'enquête a été effectuée. Cet effet a été un élément de base de la détermination de notre échantillon. La Commune d'Ibanda constitue le centre de la ville Bukavu où sont concentrés les quartiers résidentiels ainsi que presque toutes les structures politico-administratives, tandis que les deux autres communes (Bagira et Kadutu) abritent en général les quartiers entièrement à caractère urbano-rural.

Tableau 2.4. Répartition de l'effectif démographique de la ville de Bukavu

Com.	Nbre de quartiers de la ville	Effectif Par Quartier	%ntage par quartier	Ménage par quartier	Effectif total par Commun	%ntage par Com.	Ménages par Commu
Ibanda	Ndendere	226 724	17,2	28 341	**557 530**	**42,4**	**69 691**
	Nyalukemba	203 182	15,4	25 398			
	Mpanzi	127 624	9,7	15 953			
Kadutu	Nyamugo	106 819	8,1	13 352	**409525**	**31,1**	**51 191**
	Nkafu	101 475	7,7	12 684			
	Mosala	79 242	6,0	9 905			
	Cimpunda	47 609	3,6	5 951			
	Kajangu	16 190	1,2	2 024			
	Kasali	22 218	1,7	2 777			
	Nyakaliba	35 972	2,7	4 497			
Bagira	Nyakavugo	139 332	10,6	17 417	**349 085**	**26,5**	**43 636**
	Kasha	172 020	13,1	21 503			
	Lumumba	37 733	2,9	4717			
TOTAL GENERAL		**1 316 140**	**100**	**164 518**	**1 316 140**	**100**	**164 518**

Source : DPS, 2019 et nos calculs

OMS (2015), estime qu'en moyenne 8 personnes constituent un ménage. Cela étant, la colonne ménage par quartier est obtenue grâce à l'effectif par quartier diviser par 8.

II.2.1.2. Critère de l'échantillonnage

En matière d'échantillonnage, il existe une diversité de méthodes qu'on regroupe principalement en deux catégories : probabiliste et non probabiliste avec chacun ses particularités (avantages et désavantages) s'adaptant ainsi à des situations bien déterminées. A cet effet, la présente recherche est réalisée grâce à un échantillonnage non probabiliste par quota. Ici, l'objectif visé est d'obtenir dans l'échantillon, une représentativité suffisante des aspects sociodémographiques ainsi que d'autres importantes variables caractérisant la population cible. La méthode utilisée a l'avantage d'être moins coûteuse et rapide.

Ainsi, la construction de l'échantillon est faite suivant un modèle réduit de population en fonction des critères de quotas prédéfinis c'est-à-dire groupé en catégorie sociale.
En effet, comme signalé par Lina, (2016), la Commune d'Ibanda représente la catégorie de haut standing (HS), comprend généralement de grandes parcelles, des ménages à situation socio-économique plus ou moins stable, dont les maisons sont faites en matériaux durables et à côté desquelles on peut trouver des cours relativement importantes et parfois des jardins et l'accessibilité du véhicule. La Commune de Bagira représente la catégorie de Moyen Standing (MS), comprend également des maisons en matériaux durables, souvent jumelées et habitées par plus d'un ménage, avec des cours très étroites.

Quant à la Commune de Kadutu, elle représente la catégorie de bas standing (BS), constituée de manière générale par des agglomérations populaires des ménages à situation économiquement faible, comprenant un réseau de petites maisons précaires faites généralement en matériaux-semi-durables ou même en planches, s'étendant jusque sur l'emprise des routes (ruelles) ou même sur les ouvrages de drainage des eaux usées. Ce regroupement en catégorie sociale, dans la suite, interviendra dans la détermination de l'échantillon en choisissant certains quartiers à enquêter dans chaque Commune.
La sélection des quartiers à enquêter s'est basé : sur la démographie élevée ainsi que le niveau de vie des ménages

II.2.1.3. Méthodologie de détermination de l'échantillon

Le choix du nombre de ménage à enquêter s'est fait sur base du principe de Nortest (1995) cité par Aloueimine (2006), qui fixe un taux d'échantillonnage de 0,013 c'est-à-dire 13 pour un total de 1000 ménages avec qu'une marge d'erreur standard de 5% et une intervalle de confiance de 95%. Selon IPS (2016) et OMS (2015) estimant en moyenne 8 personnes par ménage, les six quartiers à enquêter regroupant ainsi une population de 1316140 habitants, en le divisant par 8**,** ce qui nous donne 164 518 ménages dans la ville de Bukavu.

Cependant, la répartition en pourcentage des ménages échantillonnés en fonction de l'appartenance sociale est déterminée par le nombre total de ménages de chaque quartier auquel est appliqué le taux d'échantillonnage de 0,013. Cette répartition en pourcentage nous a facilitée à déterminer le nombre de ménages à enquêter dans chaque quartier. Conformément à cette situation sociale, selon leur densité élevée, deux quartiers par Commune ont été sélectionnés pour enquête (Tableau 2.5).

Tableau 2.5. Répartition de l'échantillon par quartier

Catég. sociales	Quartier	Population par quartier	Nbre de ménage par quartier	Ménages à échantil-lonner (0,013)	% par quartier	Ménages à enquêter par quartier
HS	Ndendere	226 724	28 341	368	24	88
	Nyalukemba	203 182	25 398	330	21	71
	Nyakavogo	139 332	17 417	226	15	33
MS	Nkafu	101 475	12 684	165	11	18
BS	Kasha	172 020	21 503	280	18	51
	Nyamugo	106 819	13 352	174	11	20
Total Général		**949 552**	**118 694**	**1 543**	**100**	**280**

Source : nos calculs

Légende : HS : Haut standing ; MS : Moyen standing ; BS : bas standing

Comme nous le constatons, le Tableau 2.5, souligne les aspects suivants :

$$\text{Nbre de ménages par quartier} = \frac{\text{population par quartier}}{8\ (\text{nbre de pers dans un ménage selon OMS, 2015})}$$

Ménages à échantillonner = nbre de ménages par quartier x le taux d'échantillonnage

Etant donné que nous allons travailler sur un nombre réduit, mais représentatif, nous procédons au calcul de pourcentage de chaque quartier pour aboutir à un nombre très réduit.

$$\%\text{ntage par quartier} = \frac{\text{ménages par quartier}}{\text{total de managş à échantilloner}} \text{ x } 100$$

Le nombre très réduit est obtenue :

$$\text{Ménages à enquêter} = \frac{\text{ménages à échantillonner par quartier x proportion}}{\%\text{ntage}}$$

Ce qui signifie que, les ménages enquêtés par quartier sont obtenus en multipliant le total des ménages à échantillonner par la proportion des ménages à échantillonner divisé par 100.

Ainsi, le nombre de ménages enquêtés par quartier se présente de la manière suivante : Ndendere/Ibanda (88 ménages), Nyalukemba/Ibanda (71 ménages), Nyakavogo/Bagira (33 ménages), Nkafu/Kadutu (18 ménages), Kasha/Bagira (51 ménages) et Nyamugo/Kadutu (20 ménages).

Cependant, dans les Communes de Kadutu et Bagira, tous les quartiers n'ont pas un même niveau de vie, raison pour laquelle le quartier Ndafu (Kadutu) se retrouve dans le MS et Kasha (Bagira) en BS suite au mode de vie des ménages plus ou moins élevé.
En somme, l'enquête est portée sur un total de 280 ménages choisis d'après l'échantillonnage non probabiliste par quota en vue d'une représentativité suffisante en cherchant, dans l'échantillon donné, à reproduire des distributions sociodémographiques et variables importantes dans la population à étudier. Ainsi, le nombre de ménages choisis où l'échantillon est tiré, représente 72% du total des ménages de la ville de Bukavu, soit 118 694 sur un total de 164 518 ménages.

Étant donné que les quartiers choisis sont constitués par les cellules, et les cellules en avenues, le Tableau 2.5 nous permet de trouver le Tableau 2.6. Ceci non seulement dans l'objectif de déterminer le nombre de ménages à enquêter dans chaque avenue (après calcul de la proportion de chaque avenue) de notre zone d'étude mais aussi pour un échantillon représentatif. Le Tableau 2.6 nous donne une précision sur le nombre de ménages à enquêter dans chaque cellule et ou avenue, donnant ainsi la probabilité d'enquêter 2 à 3 ménages dans chaque avenue.

Tableau 2.6. Répartition du nombre de cellules et d'avenues par quartier

Quartiers	Nombre de cellules	Nombre d'avenues	Nombre ménages	Calcul de proportion	Ménage à enquêter dans chaque avenue
Nyalukemba	Nguba I	12	88	0,09	14
	Nguba II	12		0,09	14
	Nyawera	12		0,09	14
	Muhumba I	9		0,07	12
	Muhumba II	10		0,07	12
	S/Total	**55**		**0,41**	**66**
Ndendere	Kibombo	26	71	0,19	31
	Maniema	27		0,20	32
	Nyamoma	26		0,19	31
	S/Total	**79**		**0,59**	**93**
Total		***134***	**159**	***1,00***	***159***
Nkafu	Buholo	8	33	0,14	7
	Chahi	7		0,12	6
	Chibera	6		0,11	5
	Chiriri	3		0,05	3
	Chikonyi	13		0,23	12
	Mulwa	3		0,05	3
	Mulambula	5		0,09	5
	Kanosha	3		0,05	3
	S/Total	48		0,84	44
Nyakavogo	Farial I	2	18	0,04	2
	Farial II	3		0,05	3
	Potopoto	4		0,07	4
	S/Total	**9**		**0,16**	**8**
Total		***57***	**51**	***1,00***	***52***
Nyamugo	Lomami	4	51	0,17	12
	Utu	3		0,13	9
	Byasi	2		0,08	6
	Kawa	4		0,17	12
	S/Total	**13**		**0,54**	**38**
Kasha	Clinique	3	20	0,13	9
	Karhale	4		0,17	12
	Nyarwizimya	4		0,17	12
	S/Total	**11**	**70**	**0,46**	**32**
Total		***24***		***1,00***	***70***
Total Général		**215**	**280**		**280**

Source : nos calculs

Pour le tableau 2.6, le calcul de la proportion a permis de trouver le nombre de ménages à enquêter dans chaque avenue :

$Proportion = \frac{\text{Nbre d'une cellule}}{\text{Total d'avenues}}$	Calcul de ménages à enquêter dans chaque avenue = Total de Nbre de ménages x la proportion

II.2.1.4. Questionnaire d'enquête et formation des enquêteurs

Pour cette enquête, le questionnaire utilisé est obtenu après modification et reformulation, abordant et touchant les aspects "eau, assainissement et santé" ; ceci pour vérification de nos objectifs spécifiques fixés. Les questionnaires sont destinés à deux groupes, notamment : les ménages et les entreprises de vidange dans la ville de Bukavu.

Une formation préalable aux activités d'enquêtes a été attribuée au 4 enquêteurs du domaine environnemental pour une durée de deux heures pendant 2 jours, afin de les imprégner de la méthodologie à suivre et d'élucider les termes techniques contenus dans le questionnaire. La formation a concerné l'utilisation du questionnaire en mettant l'accent aux termes techniques auxquels ils ne sont pas familiers ainsi qu'à la méthodologie d'échantillonnage.

II.2.1.5. Enquête-ménage

L'enquête-ménage a été conduite dans les six quartiers choisis à raison de deux quartiers par Commune constituant la ville de Bukavu. Cette enquête a permis de comprendre le contexte de la gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu: modes de vidange, lieux de déversement et destination finale des boues, opérateurs de collecte, nombre des Camions vidangeurs, etc. Une analyse de l'activité de vidange a également été faite : moyens matériels et humains, tarifs, conditions de mise en pratique de l'évacuation des boues. A part ce questionnaire, nous avons aussi utilisé : (i) l'interview et (ii) l'observation directe.

La méthodologie adoptée pour l'interprétation des données d'enquête, consiste dans un premier temps à définir une variable d'intérêt qui fait l'objet d'une étude statistique. En effet, l'organisation d'une enquête suppose l'existence d'un phénomène dont on veut rendre compte, c'est ce phénomène qui va être la variable d'intérêt. Une fois la variable d'intérêt identifiée, vient ensuite l'étape de repérer les questions de l'enquête (différentes variables) qui sont liées à cette variable d'intérêt. Les tableaux croisant les différentes variables identifiées avec la variable d'intérêt sont donc générés avec la vérification de l'écart à l'indépendance par la méthode du test de Khi-2 de Pearson.

Le choix de la variable d'intérêt passe pour revisiter les objectifs spécifiques de l'étude c'est-à-dire ce qui a motivé le recours à l'utilisation de l'enquête par questionnaire. Ainsi, la problématique principale de cette recherche est la gestion des boues de vidange, une gestion qui tient compte de différents maillons de la chaine d'assainissement. La variable d'intérêt considérée dans la présente étude est «***la gestion des boues de vidange*** » qui se scinde en deux sous-variables à savoir le mode d'assainissement dont dispose le ménage (pour le maillon amont) et le mode de vidange de boues (pour les maillons intermédiaire et aval).

II.2.1.6. Enquête auprès des entreprises de vidange

Cette enquête s'est déroulée concomitamment avec les enquêtes auprès des ménages. Toutes les entreprises opérant dans la ville de Bukavu ont été recensées. Le questionnaire utilisé avait pour but principal de recueillir les informations sur les aspects ci-après :

- la nature, la fréquence et les quantités des déchets liquides éliminés ;
- les méthodes de traitements et de valorisation des eaux et boues vidangées ;
- les techniques mises en œuvre pour la vidange des fosses, coûts de vidange ayant été notés auprès des services de vidange et la suivie des camions de vidange lors de leurs déplacements ;
- l'interview ayant été adressée à ces acteurs pour évaluer le niveau d'intervention dans le processus d'assainissement ;
- les difficultés rencontrées dans le métier de la vidange mécanique.

II.2.1.7. Dépouillement, encodage et traitement des données

Les données recueillies lors des enquêtes ont été enregistrées et stockées dans une base de données SPSS® dont l'aperçu est montré aux Figures 2.5 et 2.6. Après dépouillement, nous avons remarqué une perte de 10 fiches pour rester avec 270 fiches. Dans le cas qui concerne notre étude, deux bases des données ont été créées : la première pour l'enquête-ménage et la deuxième pour l'enquête auprès des entreprises de vidange. Pour le traitement de nos données, nous avons utilisé le logiciel SPSS version 16 et Excel.

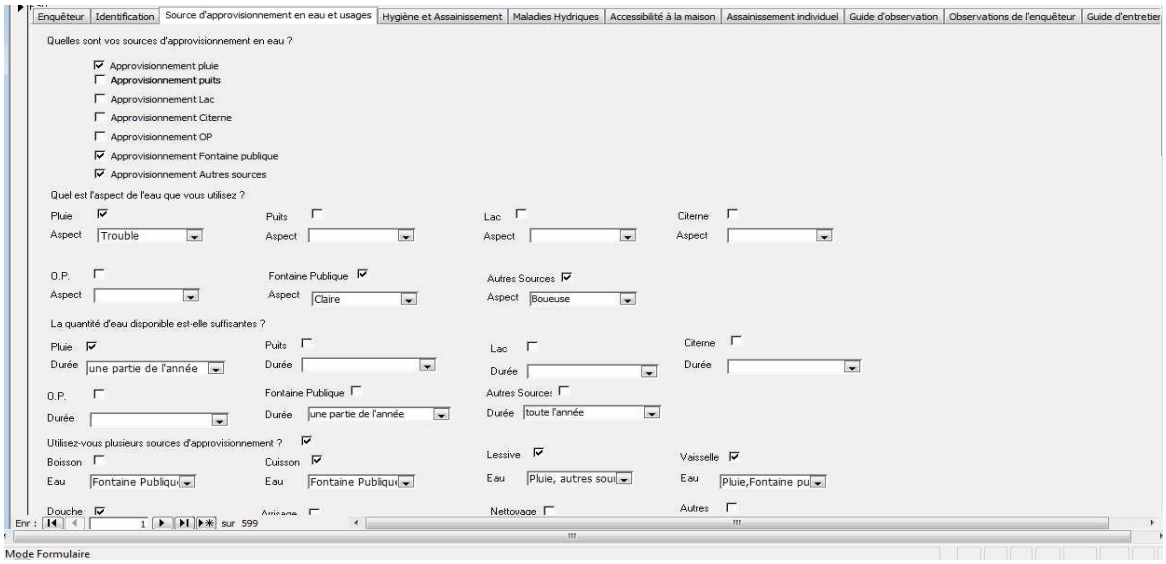
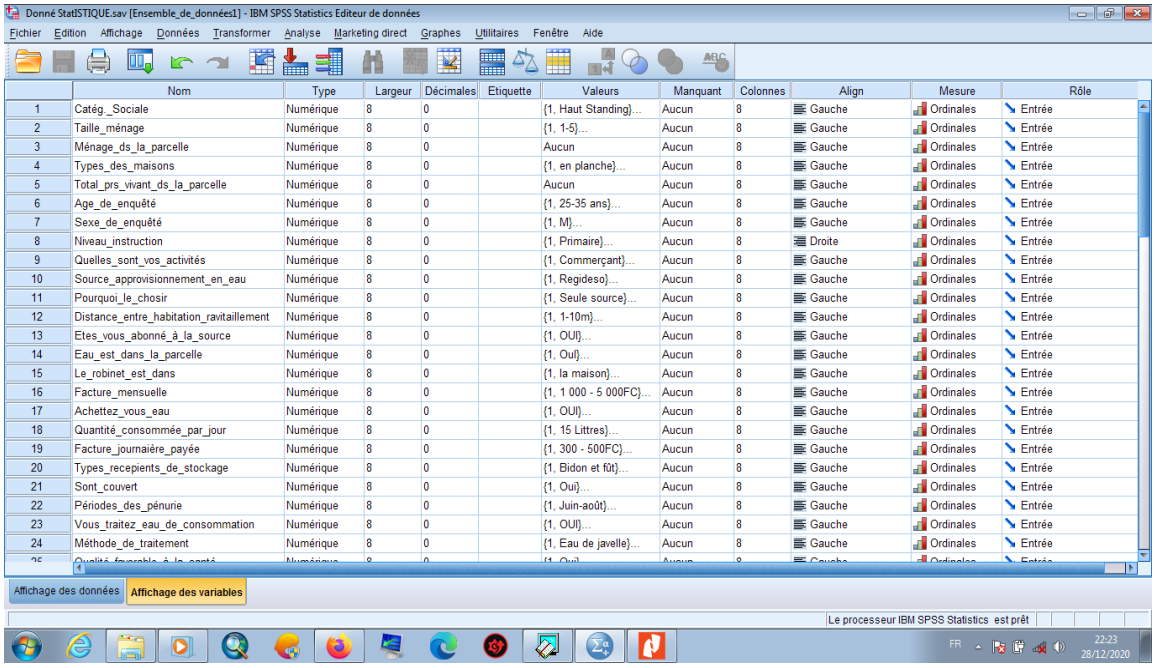


Figure 2.5 Aperçu générale de la base de données de l'enquête-ménage



	Nom	Type	Largeur	Décimales	Etiquette	Valeurs	Manquant	Colonnes	Align	Mesure	Rôle
1	Catég_Sociale	Numérique	8	0		{1, Haut Standing}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
2	Taille_ménage	Numérique	8	0		{1, 1-5}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
3	Ménage_ds_la_parcelle	Numérique	8	0		Aucun	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
4	Types_des_maisons	Numérique	8	0		{1, en planche}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
5	Total_prs_vivant_ds_la_parcelle	Numérique	8	0		Aucun	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
6	Age_de_enquêté	Numérique	8	0		{1, 25-35 ans}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
7	Sexe_de_enquêté	Numérique	8	0		{1, M}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
8	Niveau_instruction	Numérique	8	0		{1, Primaire}...	Aucun	8	Droite	Ordinales	Entrée
9	Quelles_sont_vos_activités	Numérique	8	0		{1, Commerçant}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
10	Source_approvisionnement_en_eau	Numérique	8	0		{1, Regideso}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
11	Pourquoi_le_chosir	Numérique	8	0		{1, Seule source}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
12	Distance_entre_habitation_ravitaillement	Numérique	8	0		{1, 1-10m}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
13	Etes_vous_abonné_à_la_source	Numérique	8	0		{1, OUI}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
14	Eau_est_dans_la_parcelle	Numérique	8	0		{1, Oui}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
15	Le_robinet_est_dans	Numérique	8	0		{1, la maison}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
16	Facture_mensuelle	Numérique	8	0		{1, 1 000 - 5 000FC}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
17	Achettez_vous_eau	Numérique	8	0		{1, OUI}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
18	Quantité_consommée_par_jour	Numérique	8	0		{1, 15 Littres}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
19	Facture_journaière_payée	Numérique	8	0		{1, 300 - 500FC}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
20	Types_recepients_de_stockage	Numérique	8	0		{1, Bidon et fût}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
21	Sont_couvert	Numérique	8	0		{1, Oui}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
22	Périodes_des_pénurie	Numérique	8	0		{1, Juin-août}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
23	Vous_traitez_eau_de_consommation	Numérique	8	0		{1, OUI}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée
24	Méthode_de_traitement	Numérique	8	0		{1, Eau de javelle}...	Aucun	8	Gauche	Ordinales	Entrée

Figure 2.6 Extrait de la table d'une base de données de l'enquête-ménage

II.2.2. Analyse physicochimique et parasitaires des boues de vidange

Les boues de vidange désignent des boues fraîches ou partiellement minéralisées liquides ou solides résultant du stockage des eaux vannes et des excrétas (Tilley *et al.*, 2008) dans des ouvrages non raccordés au réseau d'égout. Leurs caractérisations dépendent fortement de la manière dont les échantillons sont collectés, des méthodes utilisées pour l'analyse et des pratiques au laboratoire. Ces boues, dans les dispositifs d'assainissement « maillon amont », ne sont généralement pas uniformes, avec une couche d'écume au niveau supérieur et une couche des boues plus concentrée au fond. Ceci nous pousse à connaître ces

caractéristiques grâce au prélèvement qui est fait au lieu de dépotage à travers les camions vidangeurs.

II.2.2.1. Matériels utilisés lors de prélèvements

- Matériels de prélèvement : composé d'un gobelet, d'un entonnoir, d'un petit bidon et de flacons (verre et plastique), …
- Equipements de protection : composés de gants à usage multiple ou unique, de cache-nez, de blouse et des chaussures de sécurité (bottes) ;
- Matériel de conditionnement/de conservation : les échantillons sont placés dans une glacière et transportés jusqu'au laboratoire pour analyse.

II.2.2.2. Méthodes d'échantillonnage

Lorsque l'on recherche les caractéristiques des boues vidangées qui proviennent des systèmes d'assainissement autonome, le prélèvement se fait plutôt au niveau du camion de vidange (Koné *et al*., 2016 ; Strande ***et*** *al*., 2018 ; Rodier *et al*., 2009). Ainsi, à chaque descente, plusieurs échantillons sont prélevés au fur et à mesure que le camion dépote ses boues, pour être ensuite mélangés et constituer un échantillon composite représentatif. La méthode est plus précise, elle consiste à prélever la boue à l'intervalle régulier et pour des boues provenant des sites (milieux) différents.

Etant donné la variabilité des boues de vidange et entre autres, due à l'utilisation et le modèle du système d'assainissement, nous avons prélevé au total huit échantillons provenant des ouvrages d'assainissement différents, ceci pour avoir des résultats significatifs. A chaque camion de vidange, les procédures de prélèvement suivantes ont été utilisées :

- ✓ Un litre d'échantillon est prélevé au début du déchargement du camion citerne (quelques instants après l'ouverture de la vanne) ;
- ✓ Un litre d'échantillon est prélevé au milieu du récipient de camion de vidange (lorsque la citerne est à moitié) ;
- ✓ Un litre est également prélevé juste avant la fin du déchargement du camion. Nous avons procédé au mélange (à l'homogénéisation) de 3 (trois) fractions des boues recueillies au moment du déversement de Camions dans un récipient pour en extraire un seul. Les analyses se feront fosse par fosse (camion par camion), ne mélangeant pas les échantillons provenant de différentes fosses/Camion vidangeur.

Nous avons prélevé 5 échantillons (I_1 à I_5) provenant de la Commune d'Ibanda (considérée comme haut standing), 2 échantillons (B_1 et B_2) à Bagira (moyen standing) et 1 échantillon (K_1) à Kadutu (bas standing).

+

II.2.2.3. Paramètres physicochimiques analysés

Etant donné que plusieurs polluants sont présents dans les boues de vidange, nous avons analysé les paramètres ci-après : Conductivité, pH, Température, Azote total (NT), Nitrate (NO_3^-), Nitrite (NO_2^-), Ammonium (NH_4^+), Phosphore Total (PT), Matières en Suspension (MES). Demande Chimique en oxygène (DCO), Demande biochimique en oxygène DBO_5. Pour les différents protocoles expérimentaux, nous nous sommes servi des méthodes ISO 19458 et Rodier (2009).

Les protocoles ci-après ont été utilisés pour l'analyse des paramètres ci-haut :

pH, T°C et Conductivité.
La méthode colorimétrique et méthode potentiométrique avec électrode ont été utilisées

Mesure des MES

Méthode par filtration sur filtre en fibres de verre

Laver le disque de filtration à l'eau distillée ; Sécher le papier filtre de 1,2µm (porosité) à 105°C à l'étuve puis le peser, une masse m_0 est enregistrée ; Un volume (V) de 100mL d'échantillon à analyser est homogénéisé et est versé sur le filtre ; Mettre en service le dispositif d'aspiration ; Le filtre contenant les MES est séché pour une durée de deux heures à l'étuve ; Après refroidissement au dessiccateur, on pèse le papier filtre et son contenu et la m_1 et enregistrée. La teneur en matières en suspension est alors calculée suivant la formule ci-après :

$$\text{MES} = \frac{m_1 - m_0}{V} \times 1000$$

Le facteur 1000 permet de rapporter la teneur en mg/l.

Détermination de l'NH_4

L'azote ammoniacal est déterminé sur base de la méthode de Nessler. En milieu alcalin, le réactif de Nessler réagit avec l'ammonium en formant une coloration brun-orangé. L'intensité de cette coloration est proportionnelle à la concentration d'ion ammonium dans l'échantillon.

Dans un tube contenant les réactifs palintest pour l'ammonium, à l'aide d'une pipette, 1ml de l'échantillon est introduit dans le tube contenant les réactifs palinteste pour l'ammonium ; On y ajoute 0,5 ml du réactif de Nessler et on agite pendant 2 à 5 minutes pour homogénéiser ; On laisse reposer une à trois minutes et ne coloration bleue se développe ; On procède de la même manière pour le témoin ; La lecture est faite sur spectrophotomètre à 420nm qui donne les résultats en mg/L N ; La valeur trouvée est convertie grâce à la courbe d'étalonnage pour déterminer les résultats de l'azote ammoniacale.

Phosphore Total

Le phosphore total a été déterminé à l'aide des tests rapides Spectroquant commercialisés par Merck (référence 114543). Le principe repose sur la minéralisation dans un thermoréacteur à 100°C pendant 30 min pour transformer le phosphore organique et les polyphosphates en orthophosphates et permet ainsi d'accéder au phosphore total. Cette minéralisation s'effectue soit par oxydation au persulfate, soit par digestion à l'aide d'un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique. Dans cette solution, les ions orthophosphates forment alors avec les ions molybdates l'acide phosphomolybdique. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en bleu de phosphomolybdène qui est dosé par photométrie à 710 nm (photomètre SQ 118).

Azote Total

La détermination de l'azote total a été effectuée selon la norme ISO 11905. Le principe repose sur l'oxydation de l'azote total (représenté par les nitrates, nitrites, ammonium et azote organique) en nitrates sous l'effet du peroxodisulfate dans un milieu alcalin et porté à ébullition à pression élevée (autoclavage sous une pression de 1 bar durant 1 heure à 120°C). Les nitrates sont ensuite réduits en nitrites par passage de la solution de minéralisation à travers une colonne de Cadmium-cuivré. Les nitrites réagissent avec le réactif coloré (sulfanilamide et dichlorhydrate de N-(naphtyl-l) diamino-1.2 éthane en développant une coloration rose. Le composé obtenu absorbe à 543nm.

Détermination de Nitrate

Les nitrates présents dans l'échantillon réagissent avec l'acide chromotropique en milieu fortement acide pour former un produit de couleur jaune avec un maximum d'absorbance à 410 nm.

Mode opératoire

Dans une capsule de 60 mL, introduire 10 mL d'échantillon (pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10 mg/L, opérer une dilution) ; alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium ; poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage ; préparer de la même manière un témoin avec 10mL d'eau déionisée ; effectuer la lecture au spectromètre à une longueur d'onde de 415 nm et tenir compte de la valeur lue pour le témoin ; se reporter également à la courbe d'étalonnage.

Analyse de Nitrite

Introduire 50 mL d'échantillon à analyser dans une fiole jaugée puis poursuivre le dosage comme pour la courbe d'étalonnage ; tenir compte de la valeur lue pour le témoin ; effectuer la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 543 nm ; construire la courbe d'étalonnage.

Analyse de la DCO

Exprimée en mg d'O_2/L, la détermination de la DCO se réalise par :

Ouvrir le tube contenant les réactifs, puis introduire 2,5mL d'échantillon ; Essuyer soigneusement l'extérieur du tube et refermer le bouchon fermement et mélanger doucement ; Un échantillon témoins est également déterminé ; Placer le tube dans le bloc chauffant (minéralisateur) et porter à ébullition (148 °C) pendant 2 heures ; Enlever les tubes du bloc chauffant et les mettre à refroidir ; Effectuer la mesure (lecture) d'absorbance au spectromètre à 600 nm.

Analyse de la DBO_5

Exprimée en mg d'O_2/L, la DBO_5 est évalué à 80% par la DCO,

Les valeurs de la DCO sont multipliées par 80% pour déterminer le volume à prélever et qui seront mise dans la **bouteille d'Oxitop ;** Dans cette bouteille, on y met le Sifflons pour homogénéiser et **NaOH** afin de piéger le CO_2 ; Introduire dans chaque bouteille d'Oxitope le volume correspondant de 100mL ; Place les bouteilles dans un incubateur pour une durée de 5 jours ; Après le 5jours, on passe au lecteur et, chaque valeur affichée (affichée par l'oxiTop après 5jours d'incubation) est multipliée par le facteur correspondant au volume échantillonné qui est donné par la gamme de mesure.

II.2.2.4. Paramètres microbiologiques analysés

Les paramètres bactériologiques tels que : les coliformes fécaux (CF) et *Escherichia coli* (EC), et les aspects parasitaires comme les Œufs des helminthes (OH) et des protozoaires ont été analysés au laboratoire. Les paramètres choisis permettent de quantifier la teneur en pathogènes, de mieux comprendre l'impact de la dangerosité de ces boues sur la santé humaine (prolifération des maladies d'origine hydrique), sur la pollution des eaux souterraines et de surface (l'eutrophisation des cours d'eau) et sur l'environnement.

II.2.2.4.1. Méthodologies

Pour analyser des Œufs des helminthes, au laboratoire, une mesure de 100 mL des boues prélevés est mise dans un flacon de 1 L et diluée. Le mélange est agité et introduit dans un récipient et laisser décanter pendant 8h. Le surnageant est éliminé et le culot est soumis à la méthode (ISO 19458) cité par Malicki *et al.*, (2001) qui comporte les trois étapes suivantes:

- la séparation,
- la concentration,
- l'identification et l'observation dans une cellule de Mac Master qui facilite le comptage des œufs au microscope.

Le nombre d'œufs est calculé en fonction du volume initial :

$$N = \frac{AX}{PV}$$

N = nombre d'œufs par litre d'échantillon
A = nombre des œufs moyen dans la cellule de Mac Master
X = volume final de l'échantillon (mL)
P = volume de la cellule de Mac Master (0.3 mL)
V = volume initial d'eau usée à analyser (2 litres)

Pour les restes des analyses bactériologiques, nous avons commencé par procéder par la dilution étant donné que les boues ont une charge élevée, afin de faciliter le dénombrement. Nous avons utilisé les méthodes ISO 19458 et Mara, (2004).

II.2.2.4.2. Matériels

Pour ces analyses microbiologique, le matériel utilisé est principalement constitué de :

- Incubateur, - Une micropipette, - Un autoclave,
- Balance de précision - Microscope optique - Etuve
- Lames et lamelles - Portoir pour tubes à essai - Pipettes graduées
- Plaquons stériles pour échantillons - Tubes à essai
- Boite de Pétri stériles de dimension de 90 à 100 mm - Bec Bunsen
- Différents autres matériels courants de laboratoire ont été utilisés.

Mode opératoire

D'une manière synthétique, ci-après, les procédures d'analyse bactériologiques :

- Préparation des milieux de culture (matériels nécessaires + réactifs appropriés pour chaque paramètre analysé),
- Condition de travail « stérilisation » :

  Milieu aseptique c'est-à-dire un milieu stérile, sans présence des microbes,
- Préparation de l'échantillon,

  Dilution (eau distillée, eau péptonée)
- Etape d'ensemencement « inoculation »,

  Nous avons travaillé sous l'appareil Hotte à flux laminaire
- Etape de l'incubation

  Dans un incubateur pour l'accroissance des microorganismes
- Méthodes de dénombrement
  - ✓ Méthodes de dénombrement direct par numération des colonies isolées après ensemencement sur un support nutritif solide,
  - ✓ Dénombrement direct par calcul statistique (Œufs des helminthes).

CHAPITRE III. PRESENTATION DES RESULTATS ET DISCUSSION

Ce chapitre présente les principaux résultats issus de l'enquête socioéconomique ainsi que ceux obtenus à partir des analyses physico-chimiques et microbiologiques réalisées sur les échantillons des boues de vidange.

III. 1. Enquête socio-économique

Le traitement des données recueillies lors des enquêtes socio-économiques a consisté principalement en un croisement entre différentes variables avec la variable d'intérêt préalablement identifiée et la vérification de l'écart à l'indépendance par la méthode du test de Khi-2 de Pearson. Cela nous permettra de comprendre le pourquoi de la situation rencontrée sur terrain et aidera à déterminer de manière prioritaire à quel niveau il faut agir afin d'améliorer la situation (corriger la pratique jugée non conforme du point de vue sanitaire et environnemental en matière de la gestion des boues de vidange).

III.1.1. Caractéristiques socio-économiques des enquêtés

Tout au long de notre étude, plusieurs contraintes liées à une situation socio-économique des ménages ont été relevées dans les activités concernant la gestion des boues de vidange (la collecte, le transport et traitement) dans la ville de Bukavu. Ces difficultés se rencontrent surtout dans les ménages à revenu faible (vidange et construction des ouvrages de stockage de boues).

Environ 89% des personnes enquêtées sont de sexe masculin dont 66% chefs de ménages.

Les observations sur terrain de différents ménages enquêtés montrent que le haut standing est dominé par des maisons en matériaux durables (100% de nos enquêtés), le moyen standing présente 67% des maisons en matériaux durables et 33% semi-durables. Par contre, le bas standing est dominé par des maisons semi-durables et en planches, respectivement soit 32% et 68%.

Par rapport à l'âge des enquêtés, il varie principalement entre 25 et 55 ans, avec une prédominance de la tranche de 25-35 ans (Tableau 3.7) ; ce qui signifie que nous avons enquêté les adultes maitrisant la situation.

Tableau 3.7. Distribution des classes d'âge des personnes enquêtées

Tranche d'âge des personnes enquêtées	Pourcentage des enquêtés
25-35 ans	62,2
35-45 ans	17,8
45-55 ans	11,9
>55 ans	8,1
Total (N = 270)	**100**

Tableau 3.8. Distribution des personnes vivant dans la parcelle

Nombre des personnes dans la parcelle	Pourcentage des enquêtés
4-10personnes	66,7
10-20personnes	18,1
> 20 personnes	15,2
Total (N = 270)	**100**

Pour une planification de l'ANC, la connaissance du nombre de personnes vivant dans une parcelle est importante et plus particulièrement la gestion des boues de vidange. Selon les résultats du Tableau 3.8, 66,7% des ménages enquêtés sont constitués de 4 -10 personnes dans la parcelle, 18,1% des ménages renferment 10-20 personnes et pour 15,2% des ménages, le nombre des personnes vivant dans la parcelle est > 20. Signalons que ce dernier cas est rencontré surtout dans les quartiers traditionnels à forte densité. Ce qui expliquerait la fréquence de remplissage rapide de leurs fosses septiques.

Selon la Figure 3.7, le niveau d'instruction le plus élevé des ménages enquêtés se rencontre dans la Commune d'Ibanda avec 43%, suivi de Kadutu 31,5% et, enfin, de Bagira (30,4%). Ibanda qui occupe la première place en matière d'instruction est aussi la Commune de la catégorie de haut standing.

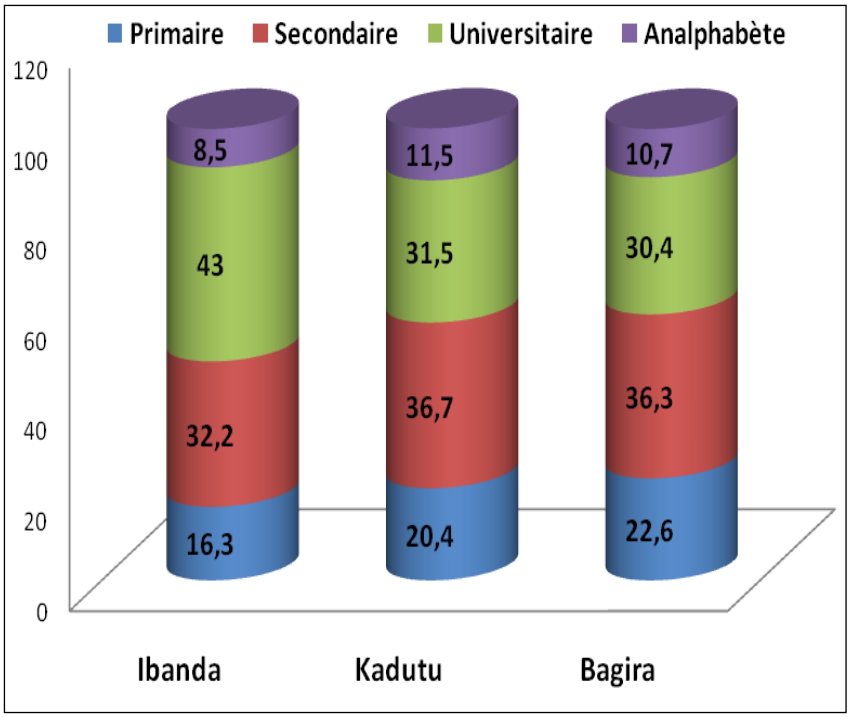


Figure 3.7. Distribution du niveau d'instruction des ménages enquêtés

Dans le domaine d'assainissement, la connaissance du niveau d'instruction des chefs des ménages peut aider à comprendre le niveau de prise de conscience des ménages des dangers d'une mauvaise gestion des boues de vidange à travers le système d'assainissement inadapté. Cette connaissance peut donner une idée sur le comportement qu'il faut adopter auprès des ménages si on veut initier des projets de mise en conformité des systèmes d'assainissement dans les domiciles des gens. C'est une donnée qui reste nécessaire et sur laquelle il faut se baser si on veut travailler avec les populations bénéficiaires des services d'assainissement.

Les résultats trouvés dans cette étude rencontrent ceux de Sy *et al.*, (2014) et de Bigumandondera (2014) qui soulignent le parallélisme qui caractérise les conditions socio-économiques et le niveau d'instruction « plus on étudie, plus on a la chance d'avoir un emploi qui permet d'améliorer le niveau de vie ».

III.1.2. Gestion des boues de vidange

La gestion des boues de vidange dépend de l'importance offerte, de la connaissance et d'un panorama de techniques à y apporter. Pour collecter les excrétas, la ville de Bukavu est dominée par différents types de latrines conformément aux catégories sociales.

Une bonne gestion des boues commence par une collecte sûre et sécurisée au niveau amont. Parmi les ouvrages d'assainissements de stockage des excrétas identifiés dans la ville, 65 % ont été construits il y a plus de dix ans.

Dans ce même volet, la figure 3.8 représente les ouvrages d'assainissement utilisé dans la ville de Bukavu.

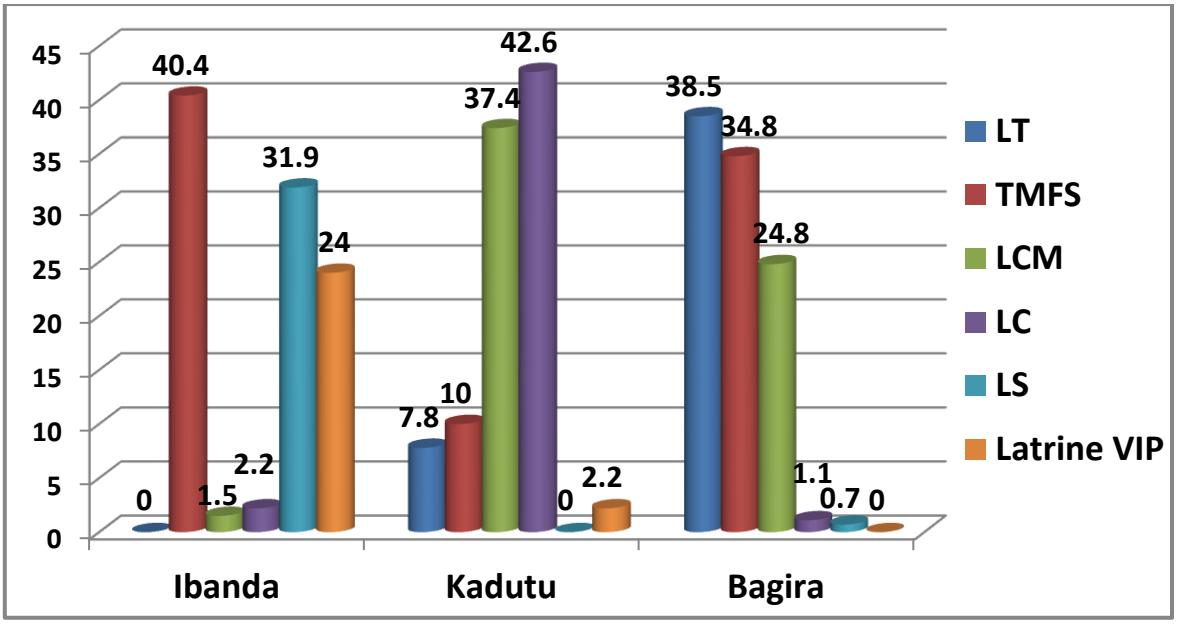


Figure 3.8. Répartition des types d'ouvrages sanitaires en fonction des communes

Légende :

LT : latrines traditionnelles à fond perdu ; TMFS : toilettes moderne avec fosse septique ; LCM : latrines à chasse manuelle ; LC : latrine à canon ; LS : latrines à siphon

La ville est caractérisée à 100% par des ouvrages d'assainissement autonome. Les résultats d'enquêtes montrent que dans la Commune d'Ibanda, les ménages utilisent des toilettes modernes avec fosse septique (40,4%), «quelques ménages disposent des latrines à canon et qui déversent directement leur contenu dans le lac » et des latrines à siphon (31,9%).
En commune de Kadutu, il y a prédominance de latrines à canon (42,6%) et des latrines à chasse manuelle (37,4%) tandis qu'à Bagira, la pratique de latrine traditionnelle est remarquée (38,5%) suivies des toilettes modernes avec fosse septique (34,8%).

En effet, considérant les catégories sociales, les fosses septiques sont à majorité rencontrées dans les ménages qui ont un revenu élevé (catégorie de haut standing).

La présence des latrines traditionnelles à fosse unique et qui peuvent être couvertes des dalles en ciments (Annexe Ic et Id) ou en bois (Annexe Ie et If) sont utilisées en majorité dans les quartiers des Communes à moyen et bas standing non raccordés au réseau d'égout. Dans la zone enquêtée, les latrines avec dalles en bois présentent un très faible pourcentage.

La situation rencontrée dans la zone d'étude montre que le mode d'assainissement adopté par le ménage dépend de la catégorie sociale (Tableau 3.9), cette dernière étant en général liée au niveau d'instruction du chef ménage, ce qui a d'ailleurs été signalé par Mbéguéré (2009).

Tableau 3.9. Relation entre mode d'assainissement et catégories sociales

	Catégories sociales / ***Mode d'assainissement***	Haut Standing	Moyen Standing	Bas Standing	Total Ligne
Effectif	Latrines traditionnelles à FP	0	9	31	40
%		0	16,4	41,3	14,8
Effectif	Toilettes moderne avec FS	97	26	7	130
%		69,3	47,3	9,3	48,1
Effectif	Latrine à chasse manuelle	33	15	10	58
%		23,6	27,3	13,3	21,5
Effectif	Latrine à siphon	8	1	0	9
%		5,7	1,8	0	3,3
Effectif	Latrine à canon	2	4	27	33
%		1,4	7,3	36,0	12,2
Effectif	Total	140	55	75	270
%		100,0	100,0	100,0	100,0
	Chi² de Pearson: 96,297, dl=6, p=0,0000				

Du tableau 3.9, il est à remarquer que les catégories sociales haut et moyen standings respectivement à raison de 69,3% et 47,3% utilisent les toilettes modernes avec fosse septique comme ouvrage de stockage des excrétas. Par contre, pour collecter les excrétas, les ménages de bas standing, 41,3% utilisent la latrine traditionnelle à FP et 36% utilisent la latrine à canon.

Les latrines à chasse manuelle avec FS sont utilisées à raison de 23,6% et 27,3% respectivement à Ibanda (haut standind) et Bagira (à moyen standing). Dans toute la ville, il faut remarquer que l'usage de Toilette moderne avec FS vient en tête avec 48,1% suivi de la Latrine à chasse manuelle avec 21, 5%.

Egalement, le mode d'approvisionnement en eau dont dispose le ménage est un paramètre important dans la distribution de choix des ouvrages d'assainissement (Tableau 3.10).

Tableaux 3.10. Relation entre mode d'assainissement et l'approvisionnement en eau potable

Tableau A

	Mode d'approvisionnement	**IBANDA**	**BAGIRA**	**KADUTU**	**Total Ligne**
Effectif	REGIDESO	85	37	47	167
%		60,7	67,3	62,7	61,9
Effectif	Fontaine publique	12	7	9	28
%		8,6	12,7	12,0	10,4
Effectif	Autres	45	11	19	75
%		30,7	20,0	25,3	27,8
Effectif	Total	140	55	75	270
%		100,0	100,0	100,0	100,0
	Chi² de Pearson: 96,2917, dl=4, p=0,0000				

Tableau B

	Approvisionnement eau / ***Mode d'assainissement***	Robinet dans la parcelle	Robinet à l'extérieur	Achat d'eau	Total Ligne
Effectif	Latrines traditionnelles à FP	0	5	22	27
%		0	9,1	29,3	10,0
Effectif	Toilettes moderne avec FS	82	26	7	115
%		58,6	47,3	9,3	42,6
Effectif	Latrine à chasse manuelle	32	12	15	59
%		22,9	21,8	20,0	21,9
Effectif	Latrine à siphon	23	1	0	24
%		16,4	1,8	0	8,9
Effectif	Latrine à canon	3	11	31	45
%		2,1	20,0	41,3	16,7
Effectif	Total	140	55	75	270
%		100,0	100,0	100,0	100,0
	Chi² de Pearson: 96,297, dl=6, p=0,0000				

Dans la ville de Bukavu, la REGIDESO est la société publique de production, de distribution et commercialisation de l'eau de boisson.

Les résultats montrent que les ménages de la Commune de Bagira restent la plus desservie (67,3%) et les ménages de cette commune affirment avoir moins de soucis pour ce qui est de l'approvisionnement en eau. Ceci s'explique par sa position géographique sur la trajectoire de ravitaillement de toute la ville en eau et la proximité de cette Commune avec les installations de production d'eau de la REGIDESO (Lina, 2016).

En dépit de sa localisation subcentrique dans la ville, une importante partie des ménages de la Commune de Kadutu accèdent relativement moins à l'eau de la REGIDESO (62,7%). Enfin, en Commune d'Ibanda, 60,7% des ménages seulement affirment utiliser pour

boisson, l'eau de cette société publique assurant un approvisionnement intermittent (une pratique nommée délestage en eau) vu sa position, ce qui constitue une pénurie d'eau.

Ce faible accès à l'eau et le niveau de vie des ménages dans la ville de Bukavu feraient que certains ménages choisissent les latrines traditionnelles ou à canon, dont les tuyaux sont des fois directement orientés vers un drain d'eau (caniveau) ou une rivière.

On remarque qu'il y a une relation entre les modes d'assainissement dont disposent les ménages et les sources d'approvisionnement en eau dans la ville de Bukavu étant donné la valeur de p (p=0,0000) inférieure au seuil de significativité de 0,05.

En effet, les toilettes modernes avec fosse septique sont utilisées à 58,6% et 47,3% respectivement par les ménages dont le robinet est dans la parcelle et à l'extérieur. Tandis que les toilettes à chasse manuelle sont également utilisées à 22,9% ; 21,8% et 20% par les ménages dont le robinet se trouve dans la parcelle, à l'extérieur et d'autres achètent de d'eau. Par contre, 41,3% des ménages utilisant la latrine à canon achètent de l'eau et 29,3% des ménages ayant l'ouvrage traditionnel à fond perdu achètent aussi de l'eau.

L'OMS/UNICEF, (2013) souligne que l'absence d'eau constitue un problème d'hygiène pour les ouvrages d'assainissement, exigeant de l'eau courante à domicile et ce de manière permanente.

Une fois, les ouvrages de recueil et de stockage des boues sont remplis, diverses activités sont menées. A ce sujet, le Tableau 3.11 illustre les actions menées en fonction des catégories sociales rencontrées, lors de remplissage de ces ouvrages.

Tableau 3.11. Choix d'actions face au remplissage des fosses septiques par catégorie sociale

	Catégorie sociale / ***Choix d'action***	Haut Standing	Moyen standing	Bas Standing	Total Ligne
Effectif	Vidange	140	31	30	201
%		100,0	56,4	40,0	74,4
Effectif	Réalisation d'autre FS	0	17	42	59
%		0,0	30,9	56,0	21,9
Effectif	Autres	0	7	3	10
%		0,0	12,7	4,0	3,7
Effectif	Total	140	55	75	270
%		100,0	100,0	100,0	100,0
	Chi² de Pearson: 96,2917, dl=4, p=0,0000				

Le résultat du Tableau 3.11 montre qu'il y a une forte significativité entre les variables (p=0,00000), la valeur de p étant inférieur à 0,05. Quelle soit la catégorie sociale, le choix de prédilection des ménages consiste à la vidange (mécanique et manuelle) (100% des ménages à haut standing, 56,4% des ménages à moyen standing et 40% à bas standing) en cas de remplissage de leur fosse. La réalisation d'une autre fosse représente 56% et 30,9% respectivement pour les ménages du bas standing et de moyen standing.

Globalement, dans toute la ville, 74,4% des ménages vidangent alors que 21,9% réalisent une autre fosse.

Cette situation s'expliquerait par la forte densité humaine dans la ville, entraînant une forte occupation du sol. La ruée sur la quête de propriété parcellaire ayant pris de l'envol depuis plus d'une décennie, favorise le découpage et le morcellement des anciennes parcelles. Cependant, dans ce contexte, la tendance est d'occuper toute la parcelle par les maisons, reléguant souvent les installations sanitaires en seconde position. Ce qui n'est pas étonnant de trouver les fosses septiques voire les puits perdants installés dans le salon et sous les fondations des maisons de la ville.

Par commune, la pratique de la vidange (Figure 3.9) est telle qu'à Ibanda, elle représente 96%, à Bagira 49% et à Kadutu 29%.

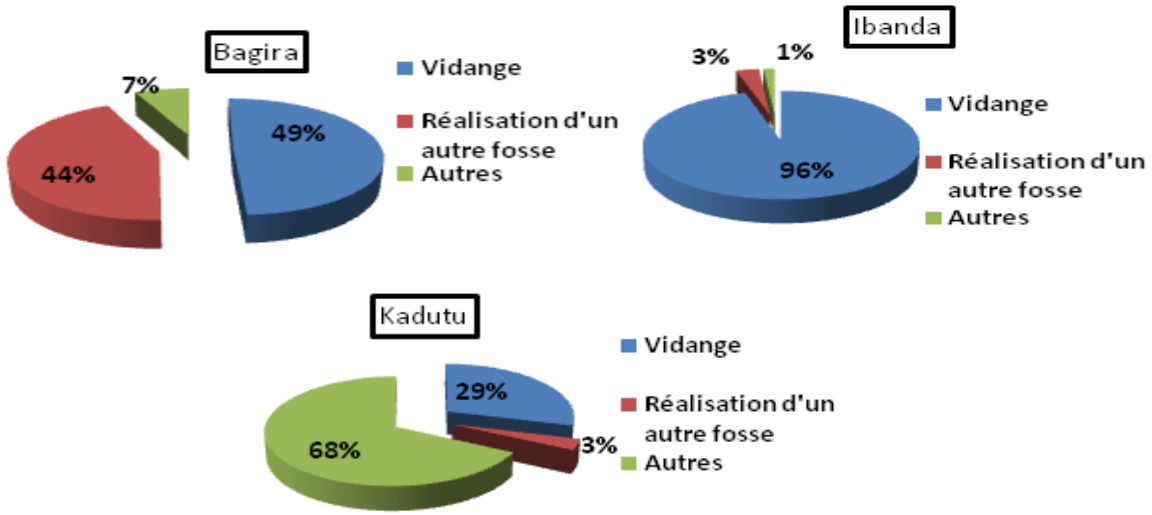


Figure 3.9. Alternatives en cas de remplissage des fosses septiques dans différentes Communes

La pratique de la variable « autres » principalement pratiquée à Kadutu (68%), une Commune à dominance de la catégorie de bas standing, consiste à l'emploi des latrines à canon et toilettes traditionnelles dont les tuyaux d'évacuation des excréments sont

directement orientés vers les rivières ou caniveaux surtout pour des ménages vivant à proximité d'un caniveau ou d'une rivière.

Cette façon de faire présente un risque élevé de pollution de l'eau de surface et de la nappe surtout dans les localités à sol perméable et nappe d'eau peu profonde.

Tableau 3.12. Relation entre le mode de vidange et les catégories sociales

	Catégories sociales / ***Mode de vidange***	Haut Standing	Moyen Standing	Bas Standing	Totaux Ligne
Effectif	Camion spécialisé	48	9	7	64
%		34,3	16,4	9,3	23,7
Effectif	Manuellement	62	27	38	127
%		44,3	49,1	50,7	47,0
Effectif	Autres mode	30	19	30	79
%		21,4	34,5	40	29,3
Effectif	Total	140	55	75	270
%		100	100	100	100
	Chi² de Pearson: 65,538, dl=4, p=0,0000				

Selon le Tableau 3.12, la vidange manuelle reste le principal mode de vidange utilisé dans les trois Communes de la ville de Bukavu avec 44,3% pour les ménages à haut standing, 49,1% à moyen standing et 50,7% à bas standing. Il convient de signaler que ce mode de vidange débouche au dépotage des boues dans les caniveaux ou dans l'espace libre avoisinant la fosse vidangée, ce qui fait craindre des risques sanitaire et environnemental élevés.

La variable « Autres mode », respectivement réalisée à 21,4% ; 34,5% et 40% par le haut, le moyen et le bas standing, consiste soit à creuser une nouvelle fosse avec les risques possibles de revenir à l'ancienne fosse, soit à l'utilisation des latrines à canon. Les taux élevés du recours à la vidange manuelle et la pratique nommée « autres» s'expliqueraient par le faible coût que représentent ces modes de vidange mais aussi par l'inaccessibilité des camions vidangeurs au site de certaines concessions suite à l'anarchie foncière mentionnée précédemment et la topographie accidentée dans certaines localités de la ville. Il faut ajouter à ce deux modes de vidange, le peu de camions vidangeurs opérant dans la ville de Bukavu.

Pour ce qui est de la pratique lors de l'opération de vidange manuelle, il est à déplorer que les personnes interrogées (tâcherons) pratiquant cette vidange, signalent n'avoir jamais observé aucune mesure d'hygiène (Annexe IIIc), une évidence d'un grand risque d'être

contaminée par des bactéries pour cette catégorie de personnes. Par contre, un autre groupe affirme utiliser des équipements de protection comme les gants, bottes, cache-nez. Ces personnes sont peu ou mal connues car elles ne disposent pas d'un siège et œuvrent donc pour l'essentiel dans le secteur de l'informel.

Les ménages à haut standing, conscients d'un quelconque risque que comporte la vidange manuelle, et jouissant d'un standing élevé, dans la plupart des cas, 34,3% déclarent faire recours au Camion spécialisé pour la vidange des boues.

Mais cette pratique est néanmoins limitée par la longueur insuffisante des tuyaux aspirant les boues dans certaines fosses septiques.

Dans leurs recherches, Bolomey (2003) , Defo *et al*., (2015) et Kassa (2004) ont montré respectivement que la vidange mécanique était le choix de 56%, 61,5% et 77% des ménages respectivement de la Commune IV de Bamako, Cameroun à Yaoundé II et de la Commune de Sam Notaire. Le facteur influençant dans les trois cas est la disponibilité du vidangeur. Cependant, les deux modes, mécanique Versus manuel, sont concurrentiels dans certains cas tels que celui du quartier Kibera de la ville de Nairobi où la vidange manuelle est pratiquée par 28% contre 33% pour la vidange mécanique (WSP, 2005).

Tableau 3.13. Relation entre coût et catégorie sociale

		Prix moyen			
	Coût de vidange / ***Catégorie sociale***	250 $	200 $	75 $	Totaux Ligne
Effectif	Haut standing	86	12	0	98
%		43,0	26,7	0,0	36,3
Effectif	Moyen standing	76	29	3	108
%		38,0	64,4	12,0	40,0
Effectif	Bas standing	38	4	22	64
%		19,0	8,9	88,0	23,7
Effectif	Total	200	45	25	270
%		100	100	100	100
	Chi² de Pearson: 65,538, dl=4, p=0,0000				

Comme nous le constatons, le Tableau 3.13, souligne trois différents prix moyens pour une vidange par course, il s'agit de 250$, 200$ et 75$ (dollars américains).

Cependant, 43% des ménages à haut standing affirment avoir payé 250$ pour vidanger leurs fosses septiques contre 26,7% ayant déclaré avoir payé 200$. Ce pourcentage se justifierait

surtout par la catégorie sociale élevée (haut standing). Les résultats de ce tableau continuent à montrer que 38% des ménages de moyen standing ont payé 250$ contre 64,4% de la même catégorie qui ont payé 200$. Ceci peut être expliqué par le manque de standardisation pour l'utilisation des camions vidangeurs.

Par contre, 88% des ménages à bas standing déclarent qu'ils ont payé 75$ pour vidanger leurs ouvrages d'assainissement, cette pratique peut être justifiée par le recours à grande échelle à la vidange manuelle suite à une situation économique faible.

On remarque cependant, qu'il y a une relation entre le coût de vidange et les catégories sociales, étant donné la valeur de p (p=0,0000) inférieure au seuil de significativité de 0,05.

Pour la plupart de certains chefs de ménages, ces prix sont excessifs et pour d'autres, ils sont raisonnables.

Déversement des boues vidangées selon les catégories sociales

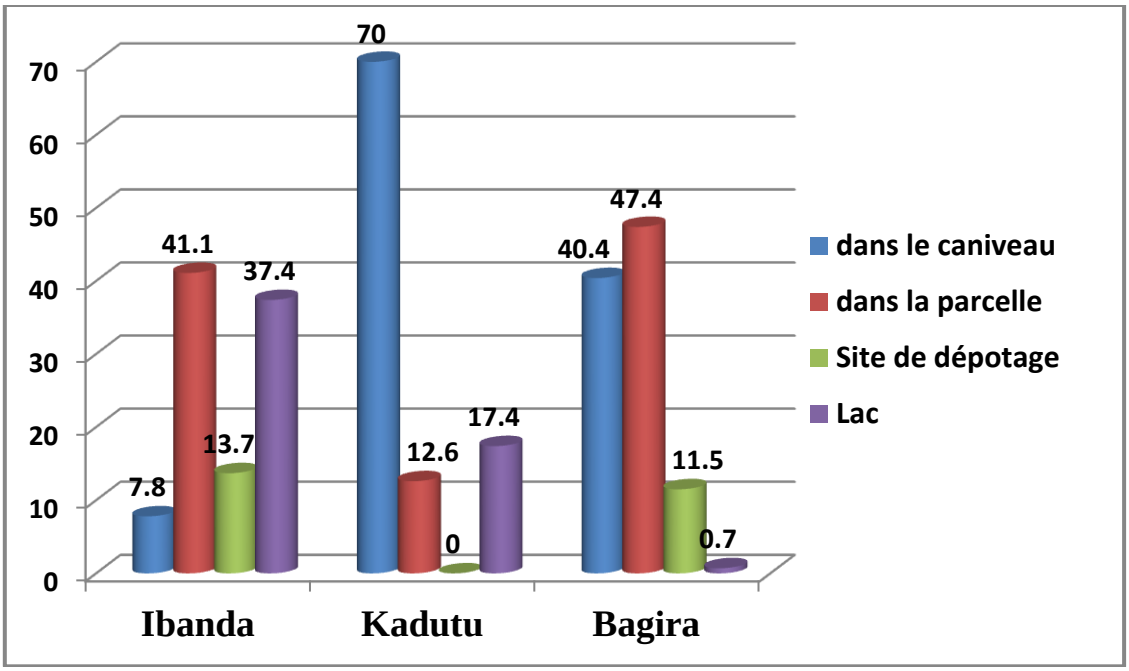


Figure 3.10. Destination des boues vidangées

Les lieux de déversement des boues vidangées est illustré à la Figure 3.10 ; l'enquête révèle que, sauf dans la Commune d'Ibanda, les caniveaux/rivières sont utilisés en grande majorité des ménages comme lieu de déversement des boues vidangées (70%) dans la Commune de Kadutu et 40,4% en Commune de Bagira. Cela est probablement dû à la densité humaine élevée dans les deux communes, combinée au caractère exigu des parcelles et à la topographie de ces zones. Cette pratique de déversement se fait préférentiellement pendant

la nuit ou pendant les événements pluvieux pour permettre une évacuation rapide des boues à l'abri des regards des voisins.

Par contre, les ménages d'Ibanda (haut standing), à raison 41,1%, enterrent les boues vidangées dans leur cours (annexe IIIa), probablement suite au fait que la plupart des ménages dans cette Commune possèdent des parcelles relativement grandes et d'importantes cours. Dans cette Commune, le lac reçoit 37,4% des boues vidangées. Cette pratique de déversement anarchique pourrait être expliquée par multiples raisons : l'absence des règlements, manque d'un site de dépotage officiel, etc.

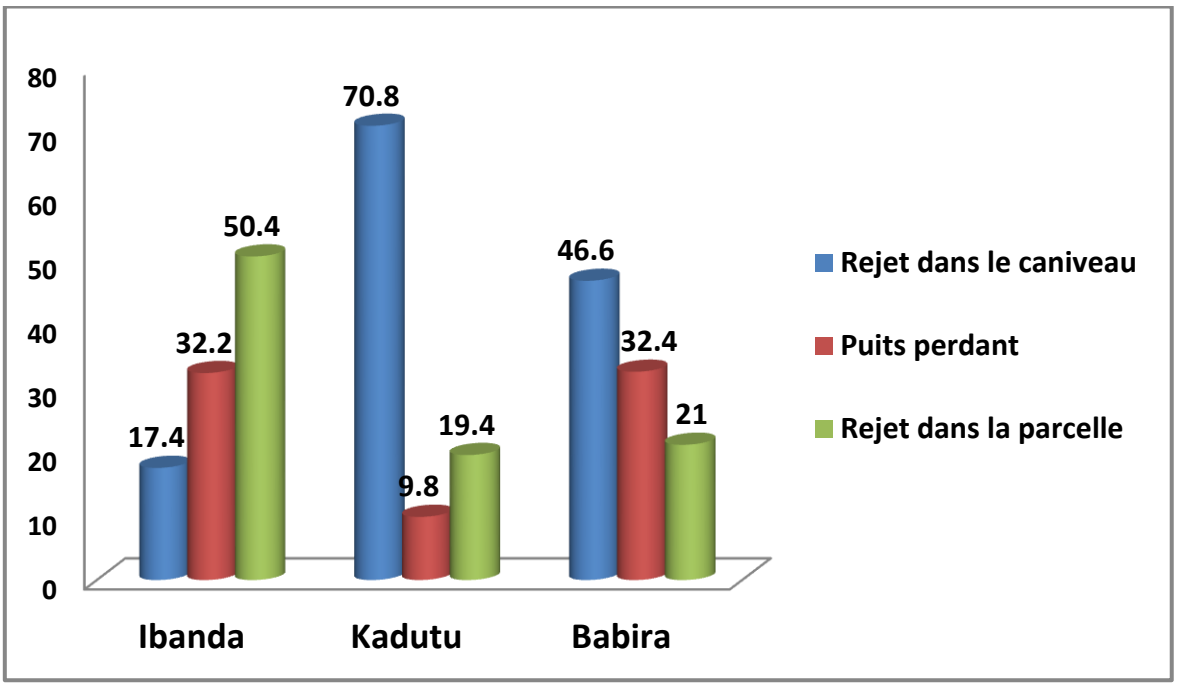


Figure 3.11. Lieu de déversement des eaux usées domestiques

Par ailleurs, les résultats de la figure 3.11 montrent que, dans la ville de Bukavu, les caniveaux, initialement conçus pour l'évacuation des eaux pluviales, constituent les principaux lieux de déversement des eaux résiduaires ménagères produites.
A cet effet, dans les communes de Kadutu (70,8%), de Bagira (46,6%), 50,4% à Ibanda, les eaux usées domestiques sont jetées dans la parcelle. Les puits perdants sont les ouvrages récepteurs des eaux usées les plus utilisés par les ménages dans les communes d'Ibanda (32,2%) et 32,4% à Bagira.

A l'image de la ville Bukavu, le constat est que certains pays en développement attachent peu d'importance au traitement des eaux usées issus des ménages, et pourtant, le traitement de ces eaux usées ménagères diminuerait le risque sanitaire lié aux microorganismes et

d'autres polluants contenus dans ces eaux usées, et, empêcherait la prolifération des moustiques (agent causal du paludisme) due aux flaques d'eaux usées sur des sols mal drainés.

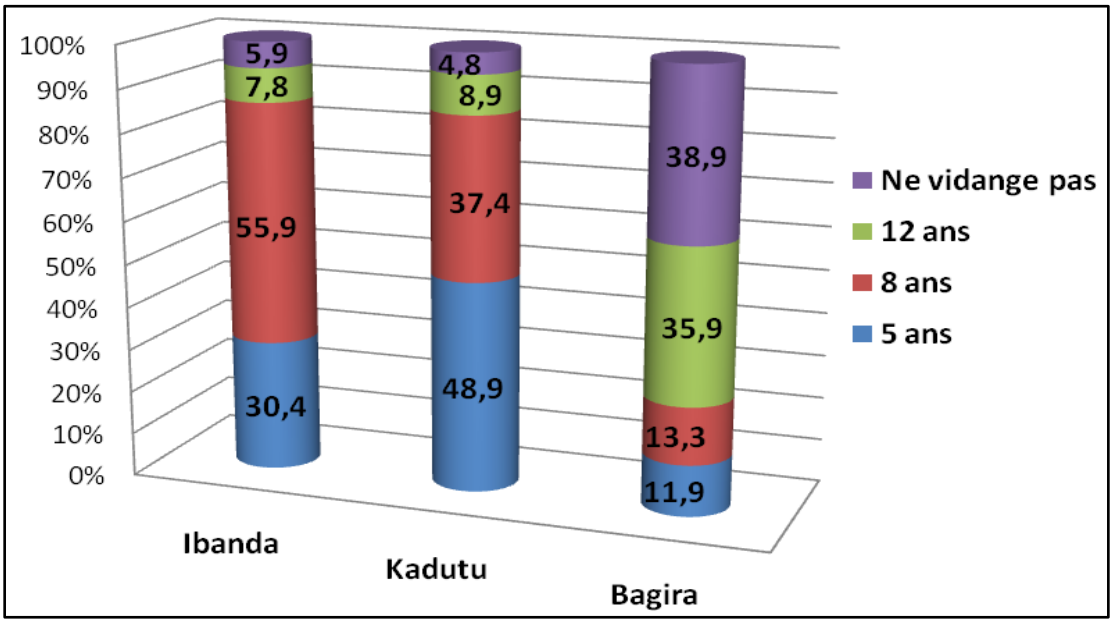


Figure 3.12. Fréquence de vidange des boues en fonction des communes

Dans les Communes d'Ibanda et Kadutu, respectivement 55,9% et 37,4% des ménages enquêtés vidangent presque tous les 8 ans. Ce qui signifie que, le reste des années, les boues sont confinées dans les ouvrages d'assainissement. Par contre, dans ces mêmes communes, 48,9% (Kadutu) et 30,4% (Ibanda) des ménages vidangent tous les 5ans.

A Bagira, 35,9 % des ménages vidangent une fois les 12 ans. La littérature disponible (MEF, 2008 ; Hina, 2009) préconise que les ouvrages de stockage des excrétas doivent être vidangées une fois tous les quatre ans, période où on suppose que le contenu de ces ouvrages est plus ou moins stabilisé et fait donc recourir à moins de risque tant sur le plan sanitaire qu'environnemental.

La grande variabilité des fréquences de vidange s'expliquerait par de multiples causes : la typologie des latrines, la non standardisation des dimensions, la qualité de la construction, les modes d'utilisation par les ménages, le nombre d'usagers et le choix de vidanger au moment souhaité même lorsque la latrine est pleine et débordante.

Dans la Commune de Bagira, lorsque les latrines sont pleines, 38,9% des ménages ne vidangent pas, mais plutôt ferment celles-ci pour reconstruire une nouvelle dans la parcelle. Selon Mpakam (2008), les boues de vidange fermées dans les fosses constituent un

important facteur de la pollution fécale des nappes phréatiques et un danger pour la santé publique. Selon le même auteur, les ménages qui ne disposent pas des moyens financiers pour construire des ouvrages sanitaires convenables et qui n'ont pas même accès à l'eau potable, construisent des latrines qui polluent la nappe d'eau qu'ils exploitent à travers des puits encore traditionnels pour combler leur besoin en eau potable.

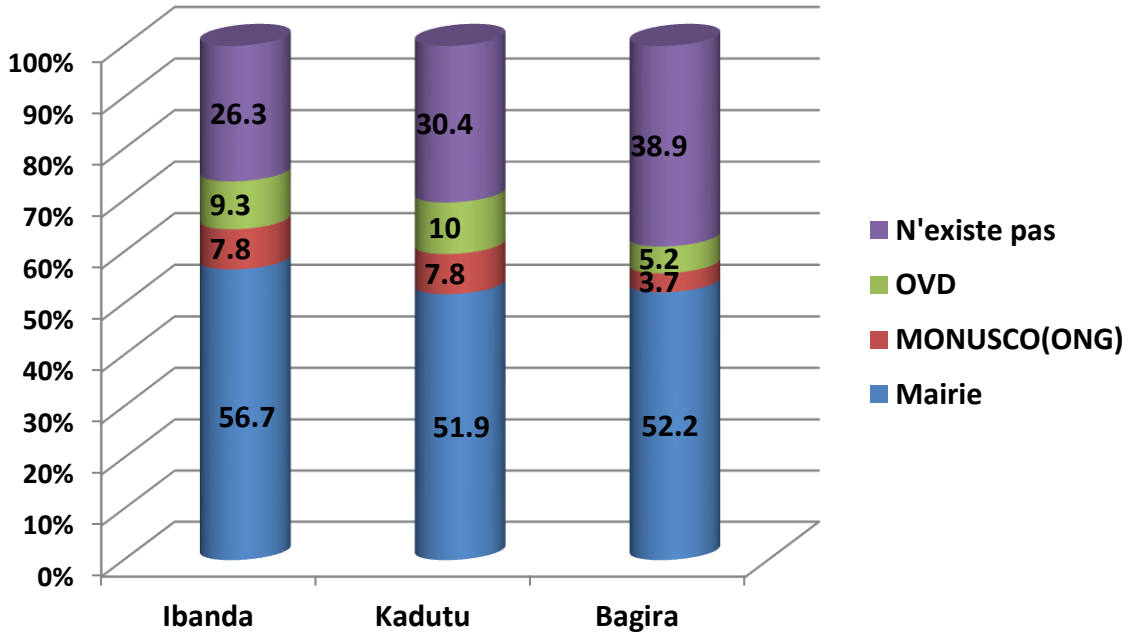


Figure 3.13. Connaissance d'existence des services en charge de boues de vidange

Dans la ville de Bukavu, les ménages de différentes communes (Ibanda 56,7%, Kadutu 51,9% et Bagira 52,2%) malgré un petit écart de pourcentage remarqué, connaissent presque au même degré, la Mairie comme service clé en charge de l'assainissement. Malgré cela, il faut remarquer un pourcentage non négligeable (Ibanda 26,3%, Kadutu 30,4% et Bagira 38,9%) qui dit ne pas être au courant d'un quelconque service en charge de la gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu. Ceci s'expliquerait par le manque d'information et la sensibilisation de la part des autorités compétentes.

Tableau 3.14. Accessibilité de Camion vidangeur à la fosse septique en fonction de catégories sociales

	Catégories sociale / ***Accès des camions***	Haut Standing	Moyen Standing	Bas standing	Total Ligne
Effectif	Accès facile	70	7	2	79
%		50,0	12,7	2,7	29,3
Effectif	Accès difficile	45	26	37	108
%		32,1	47,3	49,3	40,0
Effectif	Non accessible	25	22	36	83
%		17,9	40,0	48,0	30,7
Effectif	Total	140	55	75	270
%		100,0	100,0	100,0	100,0
	Chi² de Pearson: 96,297, dl=6, p=0,06120				

Pour ce qui est de l'accessibilité de Camion vidangeur aux ouvrages d'assainissement dans la parcelle, les résultats de l'enquête montrent que, 50% des camions vidangeurs ont un accès facile aux fosses septiques dans les ménages à haut standing contre 32,1% attestant que les camions accèdent difficilement aux ouvrages. L'accès difficile aux fosses septiques est également remarqué à 47,3% aux ménages à moyen standing et 49,3% à bas standing. Par contre, les ouvrages non accessibles aux camions vidangeurs sont souvent rencontrés dans les ménages à moyen et bas standing, respectivement 40% et 48%.

Ce faible pourcentage en termes d'accessibilité s'expliquerait en grande partie par le problème urbanistique. Ce qui conduit à des vidanges anarchiques par les ménages et pourtant, jusqu'à l'heure, en milieu urbain, le seul mode de vidange offrant un minimum de sécurité sur le plan sanitaire, reste la vidange mécanique à part quelques exemples réussis de la vidange semi-mécanique et dont d'ailleurs leur durabilité n'est pas encore démontrée.

D'une manière globale, au niveau de toute la ville, 40% présente l'accès difficile des camions vidangeurs aux ouvrages des ménages contre 30,7% présentant un non accès aux ouvrages et l'accès facile est 29,3%.

L'observation faite par rapport à l'hygiène des ouvrages de stockage des excrétas montre un état appréciable dans les ouvrages à haut standing (annexe IIb). Néanmoins, les ouvrages à moyen et bas standing présentant l'accès difficile et même l'inaccessibilité aux camions de vidange font l'objet d'un déficit hygiénique en général (annexe IIa, IId et IIc). Cette observation va dans le même sens que celle faite par Sy *et al.,* (2014) et OMS/UNICEF (2015) qui mettent en exergue le standing de l'habitat comme une clé d'amélioration de conditions sanitaires.

III.1.3. Enquête auprès des entreprises de vidange

Durant cette enquête, les entreprises opérant dans la vidange urbaine, disposant des engins destinés à collecter et transporter les boues depuis les domiciles des ménages jusqu'au site de dépotage, ont été recensées. Leur rôle est de fournir un service de qualité conformément au contrat « oral » signé avec les ménages au moment de la vidange. Signalons que, lors de notre enquête, nous n'avons pas trouvé aucune entreprise privée en activité œuvrant dans le domaine de la vidange dans ville de Bukavu.

Tableau 3.15. Principales entreprises intervenant dans la gestion des boues de vidange

Nom d'entreprises	Nbre des camions en possession	Capacité en (m^3)
Mairie	2 dont 1 en panne	8
MONUSCO (ONG)	1	14
KADUTU (Commune)	1 en panne	6
OVD	1 en panne	8

Dans la ville de Bukavu, la Mairie utilise des regroupements associatifs (ONG local) dans la collecte et la propreté de la ville. Elle possède un camion citerne de 8 m^3 (et un autre en panne). Etant donné la croissance démographique de la ville, le taux de recouvrement sur l'ensemble de la ville pour la collecte des ordures et la vidange des boues de vidange est très faible parce que les actions ne sont pas étendues dans tous les quartiers de la ville. Cette situation est révélatrice de la mauvaise salubrité observée dans la ville.
Aussi bien au niveau de la gestion des boues de vidange et des eaux usées en général que des déchets solides en particulier.

Cependant, la Mairie semblerait être limitée dans ses actions suite aux multiples causes : (i) faible capacité administrative et financière, (ii) insuffisance du personnel qualifié en la matière, (iii) manque d'équipement « enjeux roulant » (un seul camion vidangeur ne peut pas couvrir la ville), (iv) insuffisance et manque de règlements municipaux pour une bonne gestion des déchets solides et des boues de vidange, (v) absence d'une politique de gestion des boues de vidange et de l'éducation environnementale.

Dans la ville, la MONUSCO (Organisation internationale) par le biais du département d'hygiène, intervient dans la collecte et le transport des boues de vidange. Pour l'OVD, « Office de Voirie et Drainage », dont le camion vidangeur est en panne lors de nos enquêtes, sa mission principale dans l'assainissement urbain est d'exécuter les projets

d'aménagement de la voirie, la gestion des déchets liquides et solides, le drainage des eaux pluviales, ouverture (débouchage) des caniveaux ainsi qu'une petite responsabilité de la décharge publique.

III.1.3. 1 Nature, fréquence et quantité des liquides éliminés

Au sujet de la nature des boues vidangées, les résultats de notre recherche montrent qu'elles sont en général liquides, affirment 85% des entreprises enquêtées. Ces boues sont transportées à l'aide des camions citernes chargés de l'élimination des excrétas pour les déposer en dehors de la ville.

Tableau 3.16. Principales structures desservies

Structures desservies	Pourcentage des enquêtés
Hôtels, Auberges, Restaurants	50,0
Ménages	10,0
Etablissements publics	30,0
Autres	10,0
Total (N=10)	**100**

Les résultats du Tableau 3.16 montrent que principalement deux structures sont desservies, il s'agit des hôtels, auberges et restaurants (50%) et des établissements publics (30%). Ceci s'expliquerait par le fait que ces structures ont la possibilité de payer la facture par rapport aux ménages mais également seraient plus sensibles à l'hygiène de l'habitat par rapport aux ménages.

III.1.3.2 Traitement et valorisation des boues

De par les observations faites sur terrain et les entreprises de vidange enquêtées, dans la ville de Bukavu, les boues produites par les ménages et autres structures restent non traitées et non valorisées. Ceci confirme que la nature (principalement le lac Kivu) reçoit une très bonne quantité de ces boues. La ville de Bukavu ne dispose pas jusqu'à l'heure de cet enquête d'un site aménagé de dépotage ni de traitement des boues de vidange.

III.1.3.3 Prix pratiqué pour la vidange mécanique

Tableau 3.17. Critères de fixation de prix de vidange par des entreprises de vidange

Coût de vidange	Pourcentage des enquêtés (%)
Prix fixes ne varient pas	0,0
Eloignement du site	10,0
Nombre de voyage	40,0
Type de fosse	0,0
Curage entier de la fosse	30,0
Selon le volume	10,0
Difficulté d'accès	10,0
Total (N=10)	**100**

Partant des critères de fixation des prix de vidange, les entreprises enquêtées affirment que, le prix est fixé en fonction des nombres des voyages effectués par les camions (40%) ainsi que le curage entier de la fosse (30%). Ces critères sont retrouvés au Tableau 3.18 et développés selon les catégories sociales au Tableau 3.13.

Tableau 3.18. Coût lié à la vidange pour chaque entreprise

Entreprises	Prix moyen (en dollars américains)
MONUSCO	250
Mairie	200

Le tableau ci-haut, nous informe le prix relatif à la vidange dans la ville de Bukavu. Selon les interviewés, conformément à la maigre situation économique des ménages, cette tarification semblerait très élevée et non applicable pour certains ménages à faible revenu. Ce qui occasionnerait la pratique élevée de la vidange manuelle dans la ville de Bukavu (Tableau 3.12).

Par contre, malgré cette tarification, le prix de vidange pour les deux entreprises est toujours négociable et peuvent aller même en dessous, comme le prix des vidangeurs manuels qui varie selon le niveau de vie des ménages, et là c'est sous-entendu les catégories sociales. Ce qui veut dire, avant toute activité de vidange (Mairie et MONUSCO), une descente sur terrain est organisée pour étude de certains paramètres comme : l'accessibilité du camion, types de fosse, besoin de rallonge pour le tuyau, etc.

III.1.3.4. Routage de camion vidangeur

Le routage des camions vidangeurs consiste à suivre les camions vidangeurs depuis leurs lieux de stationnement vers le ménage à vidanger, puis jusqu'au site de dépotage des boues. Ce routage a permis d'estimer le taux de vidange pour les différentes localités de la zone d'études, le temps mis (trajet stationnement - ménage, pompage des boues, transport, déversement) et la distance effectuée pour une vidange ainsi que l'identification des sites des dépotages et l'estimation des quantités des boues dépotées. Le routage des camions vidangeurs a été également un moyen d'obtenir des échantillons des boues pour les analyses au laboratoire.

Il convient de signaler que l'opération de vidange comprend : l'ouverture de la fosse, la mise en place des tuyaux d'aspiration, le pompage des boues, le retrait et nettoyage des tuyaux ainsi que la fermeture de la fosse.

Tableau 3.19. Tours durant la période de routage des camions vidangeurs

Période	Ibanda		Kadutu		Bagira	
	MONUSCO	**Mairie**	**MONUSCO**	**Mairie**	**MONUSCO**	**Mairie**
1ère semaine	2	2	1	0	0	0
2ème semaine	1	3	0	1	1	0
3ème semaine	2	0	1	0	0	0
4ème semaine	1	1	0	0	0	0
5ème semaine	3	2	1	2	1	1
6ème semaine	2	0	0	0	0	0
Moyenne	**1,83**	**1,33**	**0,50**	**0,50**	**0,33**	**0,17**

S'agissant du taux de vidange dans les différentes Communes, le Tableau 3.19 montre que, dans la Commune d'Ibanda, la MONUSCO a effectué une moyenne de 1,83% des opérations de vidange (tours) « occupant la première position » suivie de la Marie avec 1,33% de routage. Par contre, dans la Commune de Kadutu, les deux entreprises occupent une même position (0,5% partout). Enfin, en Commune de Bagira, la moyenne de vidange pour la Mairie est inférieur (0,17%) par rapport à la MONUSCO (0,33%). Le faible taux de vidange dans cette Commune s'expliquerait non seulement par le maigre revenu des ménages mais aussi par le déversement anarchique des boues.

Tableau 3.20. Résultats relatifs à la distance et au temps effectués par les camions de vidange vers le site de dépotage des boues vidangées.

Entreprises	Temps moyen	Distance moyenne	Site
MONUSCO	30 ± 7,07 min	27,5 ± 3,54 km	INERA/Kavumo
Mairie	25 ± 7,07 min	20 ± 7,07 km	Cidaho/Kabare

Pour ce qui est de la distance parcourue, le Tableau 3.20 nous montre que les deux entreprises intervenant dans le service de vidange des boues ont chacun un site de dépotage, ne répondant pas malheureusement aux normes de site de dépotage des boues (Figure 3.14).
Le Camion de la MONUSCO parcourt une distance moyenne de 27,5±3,54km pour une durée moyenne de 30±7,07min pour atteindre le site de dépotage situé à Kavumo à l'INERA « territoire de Kabare/route qui mène vers l'aéroport. Par contre, pour la Mairie, le Camion vidangeur, juste après l'opération, parcourt une distance moyenne de 20±7,07km pour un temps moyen de 25±7,07min pour d'atteindre le site de Cidaho.
Ceci s'expliquerait d'une part par la mauvaise route (impraticable) et d'autre part par les embouteillages rencontrés.

Néanmoins, il arrive souvent que les chauffeurs mal intentionnés et non instruits en matière environnementale et sanitaire, n'arrivent pas à ce lieu, et déversent les boues vidangées dans une rivière /rigoles (en cours de route), surtout si l'opération de vidange s'est passée dans les heures tardives.



Figure 3.14. Lieu de dépotage des boues vidangées dans la ville de Bukavu

Pour estimer les boues déposées durant notre étude, nous allons nous servir des données du Tableau 3.19 afin de déterminer le nombre de tours effectués par chaque camion vidangeur pour les deux entreprises identifiées.

Dans le même cadre, le tableau 3.21 nous donne une estimation des boues déposées pour une période de 35jours.

Tableau 3.21. Estimation des boues dépotées

N°	Entreprise	Capacité de Camion en m^3	Nbre de tours effectués durant 35jours	Total m^3
1	MONUSCO	14	16	224
2	Mairie	8	13	104
	Total			**328**

Durant le routage de camions vidangeurs pendant 35 jours, il a été relevé que la MONUSCO a réalisé 16 tours pour le camion de 14 m^3 soit 224 m^3 ; quant à la Mairie, elle a fait 13 tours avec un camion de 8m^3 soit 104m^3. En tout, nous estimons que 328 m^3 des boues ont été déversées anarchiquement dans la nature dans l'intervalle de 35jours.

Ces boues restent sans contrôle ni traitement quelconque.

A cet effet, il est difficile de quantifier les boues produites dans toute la ville de Bukavu étant donné le nombre insignifiant des camions vidangeurs, le manque d'archives pour les boues vidangées, la non maitrise du nombre de vidangeurs manuels, la non existence d'un site de dépotage et de traitement officiel des boues agréé pour revoir les boues vidangées dans la ville, et la non implication de l'autorité compétente.

III.1.3.5. Quelques problèmes identifiés lors des opérations de vidange

A. Problème au niveau du ménage

- **Emplacement des fosses**

Lors de la vidange, il a été remarqué que certains ouvrages se trouvent derrière les maisons nécessitant une possession d'un tuyau long pouvant atteindre ces ouvrages. Ce qui oblige les vidangeurs à chercher des tuyaux très longs ou carrément faire un trou dans le mur de la clôture pour accéder à l'ouvrage. D'autres ouvrages ne comportent aucun regard d'accès permettant une vidange sans devoir démolir le béton pour accéder aux excrétas.

- **Entretien de la fosse septique**

Les installations d'assainissement liquide diffèrent de celles de la gestion des déchets solides. Dans certains ménages, lors de la vidange des fosses, on trouvait des objets solides qui bouchaient les tuyaux d'aspiration, ce qui perturbait l'opération**.** A cet effet, une sensibilisation ou des séances de formation à l'égard de la population sur la manière d'utilisation de la fosse et le type d'objets admis dans la fosse seraient importantes. Un ouvrage d'assainissement n'est pas une poubelle, seules les eaux usées domestiques et les serviettes de nettoyage anal réservées à cet effet sont admises dans la fosse.

- **Accessibilité en voie routière du ménage**

Dans les quartiers de bas standing et certains de moyens standing, la plupart des ménages enquêtés ne possèdent pas des voies d'accès rendant possible la vidange mécanique. Il convient de noter que dans la ville de Bukavu, hormis la vidange mécanique, les autres modes appliqués pour la vidange conduisent inévitablement à des problèmes d'ordre sanitaire du fait que le dépotage des boues se fait à proximité de l'endroit même où elles ont été vidangées.

- **Période de vidange**

Lors des enquêtes, il a été révélé que la majorité des ménages ne font appel aux vidangeurs (mécanique ou manuel) que quand la fosse est déjà pleine et commence à déborder. Ce qui fait courir à des risques sanitaires élevés aux habitants du ménage et à l'environnement et, diminue le confort de l'habitat. La vidange des boues devrait être programmée par les ménages qui feraient appel à l'entreprise chargée de la vidange et cela avant le remplissage de l'ouvrage.

B. Problème au niveau des entreprises de vidange

Toutes les entreprises de vidange (100 %) indiquent l'absence de la réglementation comme entorse majeure à l'exercice de leur métier. La méconnaissance des quantités de boues à évacuer à l'échelle de la ville de Bukavu, limite l'efficacité de la planification locale ; le manque de sites de dépotage aménagés contraint les vidangeurs à parcourir de longues distances à la recherche d'un endroit approprié pour décharger les boues, le plus souvent en périphérie de la ville.

Les entreprises qui opèrent dans la vidange des boues n'ont pas d'équipements adaptés et le nombre de camions est insuffisant. Il devrait y avoir d'autres engins de petite largeur capable de circuler dans des ruelles étroites non carrossables enfin d'optimiser la collecte des boues produites.

III.2. Caractéristiques physicochimiques et parasitaires des boues de vidange

III.2.1. Caractéristiques physico-chimiques

Les résultats de l'analyse de ces paramètres (physicochimiques) sont présentés dans le Tableau 3.22

Tableau 3.22. Caractéristiques physicochimiques des boues de vidange de la ville de Bukavu

Paramètres	**I_1**	**I_2**	**I_3**	**I_4**	**I_5**	**B_1**	**B_2**	**K_1**	**Moyenne**
pH	9,4	9,6	8,8	9,5	9,5	8,8	9	9	8,8 à 9,6
Conductivi. (µS/cm)	3669	2085	2910	3999	3998	2394	3490	3999	2 085 à 3 999
T° (°C)	21,3	22,3	22,6	22,4	21,8	22,3	22,4	24,8	21,3 à 24,8
MES (mg/l)	16000	26000	18100	17000	25100	26300	28000	37000	24187,5±7000,3
N Total (mg/L)	59	56,3	68,4	54,5	55,1	56,0	59	58	58,2±4,41
$N\text{-}NH_4^+$ (mg/L)	31,4	30,0	40,1	29,3	30	31	32	31,4	31,8±3,47
$N\text{-}NO_3^-$ (mg/L)	19,6	20,0	22,0	19,7	20,0	19,3	21,8	19,3	20,2±1,09
$N\text{-}NO_2^-$ (mg/L)	0,76	0,28	0,35	0,55	0,24	0,98	0,54	0,98	0,6±0,296
P Total (mg/L)	24,65	24,34	21,01	27,96	28,49	24,74	23,67	27,78	25,3±2,57
DCO (mg/l)	23000	39800	29000	27500	31000	38000	36500	49500	34287,5±8389,8
DBO_5 (mg/l)	5029	8060	7623	8600	5942	7200	7420	18000	8484,3±4011,92
Rapport DCO/DBO	**4,6**	**4,9**	**3,8**	**3,2**	**5,2**	**5,3**	**4,9**	**2,75**	**4,3±0,96**

Légende : *I : échantillons vidangés à Ibanda ; B : échantillons vidangés à Bagira et K : échantillons vidangés à Kadutu*

Du tableau 3.22, de manière générale, il se remarque une forte variabilité de résultats de différents paramètres de pollution. Les résultats des boues de vidange échantillonnées sur les camions vidangeurs des différents routages effectués se caractérisent par les faits suivants **:**

- **pH**

Le pH a été directement mesuré après le prélèvement des boues de vidange à partir de camion de vidange et les résultats montrent un pH moyen qui varie de 8,8 à 9,6

Selon Ato *et al*., (2017) et Kengne *et al*., (2011), le pH des boues de vidange apparait neutre dans les fosses septiques, et il est légèrement alcalin dans les latrines sèches. Pour l'USEPA (1994), les valeurs du pH des boues varieraient selon les substances chimiques et par l'augmentation de la charge organique dans les boues de vidange. En effet, le pH et la température peuvent être des facteurs limitant pour le développement des bactéries épuratrices. Celles-ci se développent en général à des pH compris entre 5 et 9.

- **Conductivité**

La conductivité au niveau des boues analysées varie entre 2 085 à 3 999µS/cm.

Ces résultats confirment qu'il y'a une forte présence de sels minéraux dans les boues. Tenant compte des risques de contamination des eaux de surface, une augmentation excessive dans les milieux aquatiques engendre des modifications de l'écosystème bactérien et a une influence sur la survie de la faune et de la flore aquatiques (Koné *et al.,* 2016).

- **Température**

La température ne manifeste pas de variation significative. On observe une légère variation de la température d'une fosse à une autre, avec une valeur moyenne de 22,5°C. Il faut noter que la température est favorable à l'activité microbienne de minéralisation au sein des ouvrages d'assainissement. Sa variation brusque, tout comme celle du pH, a des effets considérables sur le comportement des bactéries épuratrices du milieu. Ainsi, on note qu'en période chaude l'activité biologique est plus importante qu'en hiver, car celle-ci joue un rôle majeur sur la cinétique des réactions.

- **Matières en suspension**

Les MES constituent les éléments non dissous dans les boues de vidange. Leur abondance est favorisée par la présence de particules incapables de passer à travers un filtre de porosité nominale comprise entre 0,45 et 2µm. Dans cette étude, la concentration en MES des boues

de vidange tourne autour d'une valeur moyenne de 24187,5±7000,3 mg/L. Cette valeur est supérieure aux valeurs de Gnagne *et al.*, (2015), ce qui est presque la même que celle de Koné *et al.*, (2016). Selon NWSC (2008), la valeur moyenne de MES trouvée pour les boues de fosse septique est inférieure à celles des boues de toilette publique, cela est d'ailleurs confirmé par Heinss, (1998) qui trouve une valeur ≥ 35 000 mg/L pour la toilette publique, alors que pour les fosses, la valeur moyenne est 25 000 mg/L.

- **DCO et DBO_5**

La DCO et la DBO_5 sont des paramètres renseignant sur la teneur en matières organiques oxydables des boues de vidange. Ainsi, la DCO représente une quantité d'oxygène nécessaire à l'oxydation chimique totale de la matière organique dissoute ou en suspension dans les boues de vidange. La DBO_5 quant à elle, permet d'évaluer la quantité d'oxygène utilisée par les microorganismes pour assurer la dégradation biologique des charges polluantes dans les boues de vidange.

Le rapport DCO/DBO5 est important dans le choix des filières de traitement des boues de vidange car, il permet d'identifier le caractère peu ou pas biodégradable des boues de vidange. Si donc la valeur trouvée du rapport est de 5 pour les boues issues de toilettes publiques, cela signifie que les matières organiques sont en faible quantité ou se dégraderont lentement. En revanche, le rapport DCO/DBO5 de 1,43 à 3 des boues issues de fosses septiques indique une biodégradabilité plus importante. Ce n'est probablement pas le cas, car les boues des fosses septiques présentent généralement un temps de stockage beaucoup plus long que les boues de toilettes publiques (plusieurs années contre quelques jours), avec une stabilisation significative (Strande *et al.*, 2018).

Dans le cas précis de cette étude, pour la DBO_5, la moyenne des boues de vidange sur les 8 échantillons de la ville de Bukavu est de 8484,3 ± 4011,92 mg d'O_2/L et, pour la DCO, la moyenne est de 34287,5 ± 8389,86 mg d'O_2/L. Ces valeurs sont supérieures aux résultats trouvés par Bassan *et al.*, (2013), Koné et Strauss, (2004) et Bigumandondera, (2014). Elles montrent également une variabilité très importante de plus, le rapport DCO/DBO_5 témoigne de la non biodégradabilité des boues vidangées en ville de Bukavu, le résultat étant de 4,3 du rapport DCO/DBO_5. De ce qui précède, le traitement biologique de ces boues n'aura que peu ou pas d'effets sur leur concentration en matière organique. Les concentrations en DCO et DBO_5 des boues vidangées en ville de Bukavu est une preuve tangible des risques

sanitaires et environnementaux auxquels font face les populations urbaines et riveraines sans oublier la faune et la flore aussi bien terrestres qu'aquatiques.

+

- **Nutriments**

Pour ce qui est des nutriments précurseurs d'eutrophisation des plans d'eau, l'azote est un polluant essentiel qu'on ne peut pas négliger. La matière organique contenue dans les boues de vidange est présente sous forme de composés azotés. L'azote totale comprend l'ensemble des formes azotées aussi bien les formes minérales (ammonium, Nitrites et Nitrates) que les formes organiques (protéines, polypeptides, urées, acides aminés).

Dans le contexte de cette étude, les résultats montrent que les concentrations trouvées sont élevées et nécessitent alors un traitement préalable avant tout rejet dans la nature. Ainsi, les résultats de ces nutriments analysés se présentent de la manière suivante en mg/L : $N0_3^-$ (20,2±1,09), NT (58,2±4,41), PT (25,3±2,57), $N0_2^-$ (0,6±0,296), NH_4^+ (31,8±3,47). En dépit du fait que ces valeurs semblent être inférieures aux valeurs de la littérature (Tableau 3.24), elles sont toujours largement supérieures aux normes admises au plan national pour le rejet dans la nature ou pour la réutilisation en agriculture. D'où, la nécessité de traitement de boues de vidange avant leur rejet dans la nature ou réutilisation.

Selon Tapsoba *et al*., (2016) , Ato *et al*., (2017) et Koottatep *et al*., (2005), le rejet d'une quantité de nutriments dépassant les normes de rejet dans la nature (phosphore et azote), contribue à l'eutrophisation des eaux de surface, un phénomène qui porte préjudice à la flore et à la faune aquatiques.

III.2.2. Caractéristiques parasitaires

Les boues de vidange contiennent un grand nombre de microorganismes provenant principalement des matières fécales, dont certains sont pathogènes. L'exposition aux boues de vidange non-traitées constitue un risque important pour la santé humaine, que ce soit par contact direct ou exposition indirecte. Les germes pathogènes sont transmis et propagés à travers un cycle d'infection, qui peut comprendre différentes étapes et plusieurs hôtes.

Le tableau 3.23 présente les résultats des paramètres analysés dans le cadre de cette étude.

Tableau 3.23. Caractéristiques microbiologiques des boues de vidange de la ville de Bukavu

Param.	**I_1**	**I_2**	**I_3**	**I_4**	**I_5**	**B_1**	**B_2**	**K_1**	**Moyenne**
Col. F.	89100	86900	179000	76000	87000	193000	86000	73000	108750± 8163,3
Œ. d'H.	98000	89000	169000	78300	86000	179000	196000	179000	134288± 9421,6
E. coli	16900	15900	17400	4800	6800	18100	8900	7040	11980± 5589,3
Protoz.	18000	16900	8200	15060	28100	7500	9100	21000	15482,5± 7128

Pour les résultats des analyses microbiologiques, les teneurs en pathogènes dépendent de facteurs tels que la durée de stockage dans l'ouvrage, la température du milieu et le taux de dilution. Les coliformes fécaux sont des bactéries présentes dans le tractus digestif de l'homme et, par conséquent, ils envahissent naturellement les fèces. La présence des coliformes fécaux dans l'environnement témoigne d'une contamination d'origine fécale. Pour des raisons scientifiques, il est important de quantifier leur présence même s'ils ne sont pas utilisés comme indicateur direct d'efficacité de traitement des boues de vidange (Strande *et al*., 2018).

Dans cette étude, la concentration moyenne en coliformes fécaux est estimée à 108750±48163,3 ufc/100mL. Cette valeur dépasse celle de NWSC (2008) et est presque 3 fois la valeur trouvée par Youssef et Belghyti, (2007).

Ainsi, la méthode standardisée pour l'analyse des coliformes fécaux ou thermo-tolérants qui repose sur leur production d'acide et de gaz à partir de lactose lorsqu'ils sont incubés à 44 °C (Mara, 2004), nous a permis de déterminer dans cette concentration, les espèces de coliformes qui sont : *Citrobacter freundii, Citrobacter diversus, Citrobacter amalonaticus, Enterobacter aerogenes, Enterobacter cloacae, Escherichia coli, Klebsiella pneumoniae, Klebsiella oxytoca, Salmonella, Yersinia enterocolitica.*
S'agissant d'*E. coli*, et, étant donné qu'il fait partie de coliformes fécaux, la concentration moyenne est estimée à 11980±5589,3 ufc/L.

Les helminthes sont des parasites colonisant le tractus gastro-intestinal de l'homme, dont les complications pathologiques découlant des contaminations sont l'une des causses de la décroissance physique et intellectuelle des enfants dans le monde (Bouhoum *et al*., 1997 et OMS/UNICEF, 2010).

La concentration en œufs d'helminthes est un indicateur capital pour déterminer la qualité hygiénique et sécuritaire des sous-produits issus du traitement des boues de vidange.
Dans cette étude, le dénombrement d'œufs d'helminthes présents dans les boues de vidange collectées dans la ville de Bukavu affiche une moyenne de 134287,5±50491,6 œufs/L qui sont des valeurs supérieures à celles trouvées par Yen-Phi *et al*. (2010) et Heinss *et al.,* (1998). Ces auteurs affirment que dans les boues de vidange, les œufs d'helminthes s'accumulent 3 fois plus que dans les eaux usées domestiques.

En outre, pour ce qui est des œufs d'helminthes, 3 groupes ont été identifiés dont : (i) les Nematodes regroupant les espèces comme *l'Ascaris sp, Taenia solium, Taenia saginata, Ankilosoma sp, Schistosoma sp, Trichuis sp, Clonorchis sinensis* et *Enterobus sp* ; (ii) les Cestodes regroupant également les espèces comme *Taenia solium, Moniezia sp, Echinococus sp, Taenia saginata, Hymenolepis sp*) et les Trématodes (*Schistosoma mansoni*). Ils sont transmis à l'homme par contact direct ou indirect (*helminthiases*) avec les boues de vidange.

Pour ce qui est des protozoaires, les échantillons des boues de vidange de différentes fosses septiques, après dénombrement, leur concentration moyenne est évaluée à 15482,5±7128 kystes/100mL. Cette valeur est presque semblable à celle trouvée par Bouhoum *et al*.,(1997) et presque la moitié de celle trouvée par Yen-Phi *et al*., (2010). Certaines espèces (kystes) des protozoaires ont été identifiées et à des concentrations différentes. Il s'agit d'*Entamoeba histolytica, Giardia sp, Cyclospora histolystica, Entamoeba coli, Toxoplasma* et *Sarcocystis ssp*.

Cet état fait sur la prévalence des parasites dans les boues de vidange, conforte la nécessité de traiter ces boues de façon adéquate avant leur rejet dans la nature, afin de réduire les risques sanitaires et environnementaux.
En plus, le tableau-synthèse (3.24) montre les concentrations en différents paramètres trouvés dans la présente étude en comparaison aux valeurs de la littérature.

Tableau 3.24. Tableau synthétique de comparaison des caractéristiques des boues de vidange

Paramètres Analysés	Résultats de l'étude « moyenne »	Résultats de la littérature		Références
	FS	FS	TP	
pH	8,8 à 9,6	[6,5 ; 9,34]	///////////////	Kengne *et al*., (2011)
		7,41	7,48	Ato *et al*., (2017)
Cond. (µS)	3318 ± 763,8	3416	///////////////	Monvois *et al*., (2010)
		//////////////////	4623	Tilley *et al*., (2016)
T° (°C)	22,5 ± 1,02	33	19,3	Tapsoba *et al*., (2016)
		27,2	29,5	Koné *et al*., (2012)
MES (mg/l)	24187,5 ± 7000,3	16.000	54.000	Gnagne *et al*., (2015)
		//////////////////	23.000	Kengne *et al*., (2016)
Azote total (mg/L)	58,2 ± 4,41	649	1.397	Ato *et al*., (2017)
		[190 ; 300]	///////////////	Koné and Strauss (2004)
Ammonium (NH_4) (mg/L)	31,8 ± 3,47	[150 ; 1200]	///////////////	Koné et Strauss (2004)
		1000	[2.000 ; 5.000]	Strauss et Montangero (2004)
Nitrate (NO_3) (mg/L)	20,2 ± 1,09	[29 ; 31,5]	32,7	Koottatep *et al*., (2005)
Nitrite (NO_2) (mg/L)	0,6 ± 0,296	0,39	0,96	Yen-Phi *et al*., (2010)
Phosphore Tol (mg/L)	25,3 ± 2,57	150	450	NWSC (2008)
		138	229	Ato *et al*., (2017)
DCO (mg d'O_2/L)	34287,5 ± 8389,86	[1200 ; 7800]	49.000	Koné et Strauss (2004)
		15000	[20.000 ; 50.000]	Strauss et Montangero (2004)
DBO_5 (mg d'O_2/L)	8484,3 ± 4011,92	[1453 ; 840]	///////////////	Bassan *et al*., (2013)
		2600	7600	Koné et Strauss (2004)
Rapport DBO_{5nf}/DCO	4,3 ± 0,96	[6,1 ; 6,7]	5,8	Bassan *et al*., (2013)
Col/ Fé.	108750 ± 48163,3	1,00E+05	100E+05	NWSC (2008)
Œufs d'helm.	134287,5 ± 50491,6	4,00E+03	[2E+04 ; 6,E+04]	Strauss et Montangero (2004)
		1,60E+04	///////////////	Yen-Phi *et al*., (2010)
E. coli	11980 ± 5589,3	21.000	12.000	UNICEF, OMS, (2015)
		//////////////////	18.000	Heinss *et al*., (1998)
Protozoaires	15482 ± 7128	41.000	///////////////	Ellis *et al*., (1993)
		28.000	39.000	Yen-Phi *et al*., (2010)

Légende : **FS** : Fosse septique ; **TP** : Toilette publique

L'importante variabilité des caractéristiques des boues de vidange rend nécessaire l'acquisition de données spécifiques à un lieu, en vue de concevoir la filière de traitement des boues.

A la lumière des résultats trouvés, il est à signaler qu'il y a une différence entre les valeurs de la littérature. Certaines valeurs sont soit supérieures, inférieures ou soit se rapprochent. Les raisons liées à cette différence sont déjà évoquées. Cela illustre combien il est important de déterminer les caractéristiques locales des boues de vidange préalablement à la conception des installations de traitement.

III.3. Situation actuelle de la gestion des boues de vidange et proposition des voies de sorties

III.3.1. Situation actuelle de la gestion des boues

La ville de Bukavu, comme nous venons de le constater à travers les résultats de cette étude, est confrontée à de sérieux problèmes du point de vue gestion des boues de vidange.

La gestion des eaux usées et excrétas reste précaire. Les rivières traversant la ville de Bukavu, se comportent en égouts à ciel ouvert, constituant des moyens d'évacuation par excellence des déchets importants des différentes natures, générés dans cette ville où les systèmes classiques d'assainissement sont amputés des maillons intermédiaire et aval. Dans ses recherches, Lina (2016) précise que pour les volets physicochimiques et bactériologiques, des grosses charges de pollutions sont évacuées par les rivières traversant la ville (Kahwa, Tshula, Bwindi et Wesha), qui font d'elles les principaux exutoires des déchets générés dans la ville.

Ceci s'expliquerait par l'inexistence d'un centre de traitement des eaux usées et excrétas, le nombre de Camions vidangeurs presque insignifiant, ne couvrant pas la majorité des ménages. Ce genre de pratique occasionne une pollution grave (des eaux de surface) du lac Kivu milieu récepteur, déséquilibrant ainsi la vie des espèces aquatiques (l'environnement en général).

Dans cette ville, la crise environnementale et écologique, dont les symptômes sont décrits dans ce travail, tire son origine en premier lieu des ménages et, en second lieu, de la mauvaise gouvernance qui peut être considérée comme la principale cause de la dégradation rapide de l'environnement et de l'écosystème lacustre. C'est à l'Etat, de par sa fonction régalienne, qu'incombe l'ambitieuse tâche de la mise en place d'un cadre juridique et réglementaire de la gestion des eaux usées et excrétas.

Eu égard à cela, les boues vidangées manuellement ou mécaniquement sont presque toutes jetées dans la nature dégradant l'environnement, milieu de vie des êtres vivants. Les analyses physico-chimiques et microbiologiques menées à ce sujet, montrent qu'elles sont beaucoup chargées d'espèces parasitaires (pathogènes à l'homme), ce qui constitue une pollution environnementale et une prolifération des maladies d'origine hydrique causant des morts d'homme dans la ville.

III.3.2. Proposition des voies de sorties.

Etant donné la situation actuelle de la gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu, il est évident de proposer un modèle qui conviendrait mieux pour une gestion pérenne et efficace des BV. Le modèle proposé encouragerait les ménages à ne pas contourner la vidange mécanique pour faire des pratiques illégales comme la vidange manuelle et le dépotage dans les canaux et rivières pendant la nuit à l'aide des seaux. Dans cet élan, il encouragerait aussi l'implication de l'autorité compétente en créant des stations de transfert des boues dans différents quartiers afin de faciliter les techniques moyennes de gestion des boues au niveau locale. Ce qui, par voie de conséquence, diminuerait le prix d'une vidange. Ainsi, le modèle proposé de gestion des boues incite au dépotage adapté selon le contexte de la ville de Bukavu qui est présenté dans la Figure 3.15

Proposition d'un plan de gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu

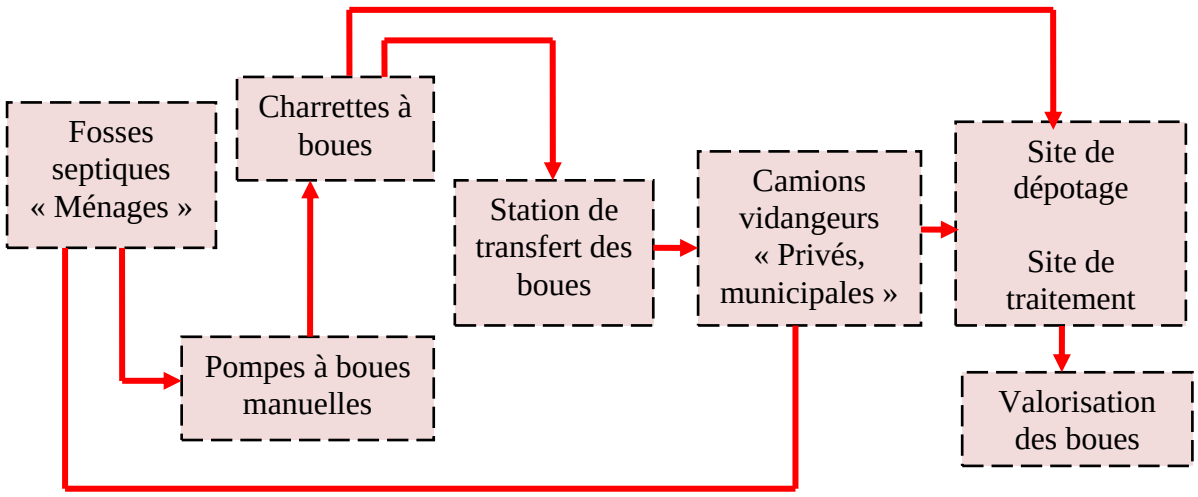


Figure 3.15. Plan de gestion des boues de vidange dans la ville

Les pompes à boues manuelles sont adaptées pour des zones qui ne sont pas desservies par des camions de vidange ou auxquelles ceux-ci ne peuvent pas accéder, ou encore si la vidange des camions de vidange y est trop chère. Elles sont bien adaptées pour des milieux urbains denses et informels bien que le type et la taille de véhicule de transport déterminent

la distance qu'ils sont capables de parcourir jusqu'au point de dépotage. Il est possible que de gros véhicule ne puissent pas passer dans des rues étroites et des allées, alors que des véhicules plus petits pourraient ne pas pouvoir parcourir de longues distances. Ces technologies (charrettes à boues) seront plus pratiques et serviront la station de transfert installée dans les milieux périphériques de la ville de Bukavu.

La politique de la gestion des boues de vidange doit être une partie intégrante du processus de planification de l'assainissement urbain à long terme. L'identification, la participation continue et la définition des rôles spécifiques de toutes les parties prenantes, ainsi qu'un dialogue suivi entre elles représentent les seules et les plus importantes mesures contribuant au développement durable, au maintien d'une gestion améliorée des boues de vidange et à la réussite d'un projet.

Ci-après, une proposition schématique d'une planification

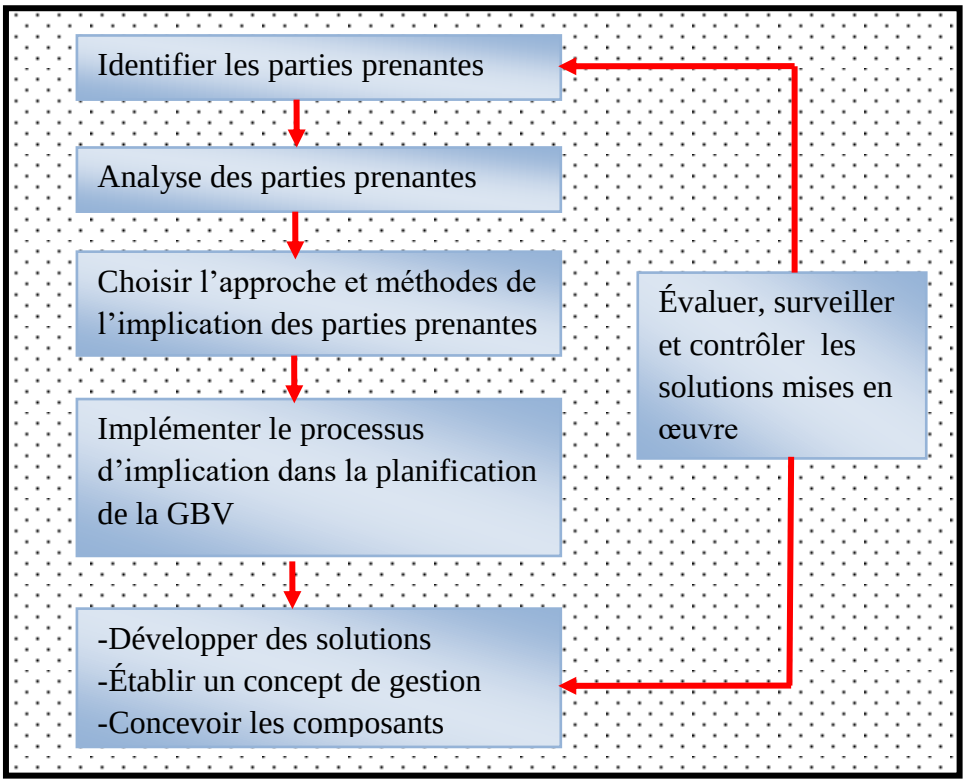


Figure 3.16. Proposition d'un schéma de planification

La Figure 3.16 illustre le procédé participatif choisi dans ce cas particulier pour une gestion des boues de vidange. Son succès dépend de la motivation et du dynamisme des parties prenantes, de l'engagement des autorités municipales, de la stabilité politique et institutionnelle, et du soutien continu d'un facilitateur.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif du présent travail était de mettre en exergue la gestion des boues de vidange et leurs caractéristiques afin d'évaluer son impact sur la santé humaine et de guider, le cas échéant, sur les choix de technologies alternatives de gestion et traitement.

La ville de Bukavu connaît une croissance exponentielle de sa population avec une augmentation de besoins dont ceux en ouvrage d'assainissement. Cette croissance est à l'origine des dimensions réduites des parcelles dans la plupart des cas, ce qui peut être considérée comme un facteur limitant concernant la mise en place d'un système efficace d'assainissement adéquat comprenant les trois maillons (collecte, transport, dépotage/traitement de boues).

En rapport avec la gestion des boues, dans la ville de Bukavu, comme dans la plupart de grandes villes africaines, les systèmes d'assainissement collectifs semblent être absents au détriment des initiatives d'assainissement autonome, dont les défaillances des installations et les faiblesses d'une politique nationale environnementale amènent à une gestion chaotique des eaux usées et excrétas.

En guise des résultats, la ville de Bukavu est dominée par différents types d'ouvrages d'assainissement (latrines) conformément aux catégories sociales. En Commune d'Ibanda, 40,4% d'utilisations comprennent des latrines modernes avec fosse septique contre 31,9% de latrine à siphon. A Bagira, il y a 38,5% de latrines à canon contre 34,8% de toilette moderne avec FS. A Kadutu, l'utilisation de latrine à canon est de 42,6% contre 37,4% de latrine à chasse manuelle. L'utilisation de latrine à canons est que, les tuyaux d'évacuation des excréments déversent directement vers les rivières ou caniveaux.

En cas de remplissage de ces ouvrages, dans la ville, les modes de vidange appliqués sont: mode manuel (47%), mécanique (23,7%) et l'informel (29,3%) (réalisation d'une autre fosse dans la parcelle, enterrement des boues dans la parcelle causant ainsi des risques environnementaux et sanitaires surtout pour la nappe phréatique).

S'agissant de l'accessibilité aux ouvrages d'assainissement, dans cette ville, 29,3% les Camions vidangeurs ont un accès facile, 40% d'accès difficile et 30,7% les Camions n'accèdent pas aux ouvrages d'assainissement. Ce qui peut être expliqué par les problèmes fonciers dans la ville et, se révèle être un facteur majeur dans la gestion des boues de vidange ; le recours aux vidangeurs informels est évident.

A cet effet, dans la ville, la destination des boues vidangées reste toujours dans l'environnement, en Commune de Kadutu, 70% sont orientés dans les caniveaux. A Bagira, 34,4% des boues sont enterrées dans la parcelle et 47,6% des boues sont orientée dans les caniveaux. En Commune d'Ibanda, les boues sont enterrées dans la parcelle dans l'ordre de 49,6% et 42,6% orientés dans le lac Kivu. Cette manière de pratique peut être justifiée d'une part de l'insuffisance des entreprises d'intervention et des camions vidangeurs (les deux entreprises identifiées avec deux camions ne peuvent couvrir toute la ville) et, d'autre part la non implication de l'autorité compétente, l'absence d'un site officiel de dépotage et de traitement des boues.

Les paramètres physico-chimiques et bactériologiques indiquent que les boues vidangées en ville de Bukavu renferment une grande concentration de pollution en matière organique, en nutriments et en parasites. Les installations de traitement des boues de vidange doivent donc être mises en place conformément aux normes spécifiques, énonçant clairement les dispositions générales de rejets des boues de vidange épurées dans le milieu naturel.
Il importe également de respecter certaines normes pour réduire les risques de transmission des maladies, en évitant leur déversement dans la nature et leur utilisation sans traitement préalable. Les résultats de cette étude peuvent servir de jalons harmoniques pour la conception et le dimensionnement de nouvelles stations de traitement des boues de vidange (site de dépotage) à travers les pays en développement même s'il est toujours préférable de procéder à un diagnostic de la qualité locale des boues de vidange.

Suggestions

Les suggestions sont formulées et adressées aux différents acteurs tels que : les ménages, les ONG, Ministère de tutelle et l'autorité municipale intervenant dans la chaîne d'assainissement :

A. Aux ménages

La maîtrise et le succès des techniques de gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu seront efficaces avec la participation de toutes les couches de la société (parties prenantes). Ceci par le truchement de :

- la sensibilisation,
- l'éducation intense des populations en leur inculquant le sens du civisme par les stratégies diversifiées.

Ces techniques peuvent se réaliser à travers :

- les tables rondes,
- des débats télévisés, des émissions radiophoniques portant sur la protection et le danger liés à la dégradation du cadre de vie,
- le renforcement du travail manuel et intellectuel sur la préservation de la santé et de l'environnement.

B. Aux autorités municipales

- Contrôler systématiquement l'hygiène et la salubrité, redynamiser et rappeler les chefs de ménages leur devoir de vidanger les fosses une fois pleines ;
- Identifier et regrouper tous les vidangeurs manuels non seulement pour un appui financier, matériels, éducatif, respect des textes légaux … mais aussi ils devraient être plus encouragés : assurance risques et maladies, paiement régulier des primes, mises à disposition des tenues afin de réduire les intoxications dont ils sont victime régulièrement et donc leur permettre de sortir de la clandestinité ;
- Multiplier la capacité de vidange par acquisition d'un nombre suffisant des Camions vidangeurs, des charrettes à boues, les pompes à boue manuelles capables d'accéder à des milieux étroits. Ces pompes fonctionnent selon le même concept que les pompes à eau manuelles ;
- Une mise sur pied d'une station d'épuration si pas un site de dépotage respectant les conditions nécessaires afin de réduire les déversements anarchique ;
- Une mise sur pied d'une station de transfert des boues de vidanges à la périphérie de la ville. Lorsque la station de transfert est pleine, un camion de vidange en vide le contenu et transporte les boues jusqu'au lieu de dépotage adaptée ;
- Encourager et construire un partenariat équilibré et profitable entre le secteur privé, la société civile et les municipalités, l'essentiel étant d'élargir l'accès durable aux services urbains d'assainissement de base aux couches de population les plus défavorisées ;
- Le principe pollueur-payeur doit être mis en marche et ne doit pas s'arrêter seulement au niveau de la population. Il devra s'étendre aux vidangeurs qui pratiquent la décharge sauvage des boues dans la nature afin d'arrêter les déversements anarchique des boues de vidange.

Perspectives

A Bukavu, la gestion durable des boues de vidange, le traitement et la valorisation ne constituent pas encore un axe de recherche développé par les professionnels de l'assainissement, « les chercheurs de la place semblent ignorés le domaine et pourtant noble ». Cela étant, nous osons croire que cette étude est l'une des premières études effectuées dans la ville de Bukavu à caractère de la gestion des boues de vidange.

Eu égard à cela, au terme de cette recherche, des perspectives se profilent pour la suite des travaux à entreprendre, notamment : étudier la nature des sols et la profondeur de la nappe phréatique en vue de mettre en place des systèmes efficaces pour une gestion des boues de vidange et de ne pas pouvoir contaminer ces nappes ; mener une étude quantitative des boues de vidange produites dans la ville, non seulement pour une planification mais aussi pour une bonne gestion ; il serait intéressant de mener une étude sur le dimensionnement des sites de dépotage des boues de vidange respectant les normes techniques permettant leur traitement ; reconsidérer les boues sous l'angle de la matière première, notamment sur base de leur potentiel énergétique et fertilisant, au grand bénéfice des communautés ; l'Etat étant un partenaire majeur dans l'assainissement, encadrer et orienter les actions et programmes liés aux systèmes améliorés du domaine d'EHA (Eau, Hygiène et Assainissement), la réhabilitation des réseaux d'égouts et des stations d'épuration, la réalisation du projet d'installation du site de dépotage de Cidaho et ailleurs.

Au terme de notre recherche, et, espérant que l'objectif est en partie atteint, étant donné que nous sommes parvenu à évaluer le degré de la gestion des boues de vidange dans la ville de Bukavu et leurs caractéristiques, les flux des pollutions arrivant dans l'environnement par des méthodes simples en vue d'amélioration des connaissances sur la qualité environnementale et les risques sanitaires dans la ville de Bukavu, nous osons espérer que les résultats et conclusions issus de cette recherche serviront de fondation pour relever la situation environnementale et sanitaire des villes surtout des pays en développement et permettront de raisonner autrement afin de progresser vers un assainissement durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ato F. M., Wilson T., Edward A., Johannes A., Emmanuel A., Justice A., Moses M., Kartik C. (2017). Chemical characterization of faecal sludge in the Kumasi metropolis, Ghana. Version 1; referees: 1 approved, 1 approved with reservations.

Bassan, M., Tchonda, T., Yiougo, L., Zoellig, H., Mahamane, I., Mbéguéré, M., & Strande, L. (2013). Characterization of faecal sludge during dry and rainy seasons in Ouagadougou, Burkina Faso. *36th WEDC International Conference, Nakuru, Kenya*, p5

Bigumandondera, P. (2014). *Étude de l'assainissement non collectif en Afrique Subsaharienne : Application à la ville de Bujumbura* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Arlon, Belgique) p243.

Bolomey, S. (2003). Amélioration de la gestion des boues de vidange par le renforcement du secteur privé local : Enquête socio-économique sur la gestion des boues de vidange dans la Commune VI du district de Bamako. *Eawag/Sandec, Dübendorf, Switzerland*.

Bouhoum K., Amahmid O., Habbari Kh. et Schwartzbrod J. (1997) « Devenir des œufs d'helminthes et des kystes de protozoaires dans un canal a ciel ouvert alimenté par les eaux usées de Marrakech ». *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 10, n° 2*, p8

Coffey, D., Gupta, A., Hathi, P., Khurana, N., Spears, D., Srivastav, N., & Vyas, S. (2014). Revealed preference for open defecation. *Economic & Political Weekly*, *49*(38), 43.

Chamaa M.S., Bidou J.E., Boureau P.Y., Lambert A., Ndagiriyehe A., Gakinahe G., Muzalia W. et Sebakunzi N. (1981). Atlas de la ville de Bukavu. Cahier de CERUKI, Bukavu

CREPA 2002. Projet de gestion des boues de vidange : Etat des lieux au Sénégal. Rapport de projet

Defo, C., Fonkou, T., Mabou, P., Nana, P., & Manjeli, Y. (2015). Collecte et évacuation des boues de vidange dans la ville de Bafoussam, Cameroun (Afrique centrale). *[VertigO] La revue électronique en sciences de l'environnement*, *15*(1), p9

ELLIS, K.V., RODRIGUES, PC, GOMEZ, CL. (1993). Parasite ova and cysts in water stabilization ponds. Wat. Res., 27, 14551460.

Franceys, R., Pickford J. and Reeds R. (1995). *Guide de l'assainissement autonome*. Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Suisse, p76

Gabert, J. (2018). *Mémento de l'assainissement,* éditions Quae. p44

Gnagne YA, Yapo BO, Meite L, Kouamé VK, Gadji AA, Mambo V, Houenoul P. (2015). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux usées brutes du réseau d'égout de la ville d'Abidjan. *Int. J. Biol. Chem. Sci.,* 9(2)

Groves R.M., Fowler Jr F.J., Couper M.P., Lepkowski J. M., Singer E., Tourangeau R. (2009). Survey Methodology.Wiley

Heinss, U., Larmie, S. A., & Strauss, M. (1998). Solids separation and pond systems for the treatment of faecal sludges in the tropics 05/98. *Dubendorf, Switzerland: EAWAG/SANDEC*.

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

Ingallinella A.M., Sanguinetti G., Koottatep T., Montangero A., Strauss M. (2002). The Challenge of Faecal Sludge Management in Urban Areas – Strategies, Regulations and Treatment Options. Water Science and Technology 46 (10)

Kalbermatten J. M., JULIUS, D. S. & GUNNERSON C. G., 1980. Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation. A sanitation field manual. World bank, Washington, p86

KASSA MVOUBOU, F., (2004). Evaluation de la gestion communautaire des boues de vidange dans la Commune dřArrondissement de Sahm-Notaire, ville de Guédiawaye, Région de Dakar, Sénégal. Rapport de mémoire de DESS en Génie Sanitaire de lřEIER de Ouagadougou. 81 p

Katukiza A.Y., Ronteltap M., Niwagaba C., Foppen J.W, Kansiime F., Lens P.N. (2012). Sustainable Sanitation Technology Options for Urban Slums. Biotechnology Advances 30 (5)

Kengne I.M., Kengne S.E., Akoa A., Bemmo N., Dodane P.-H., Koné D. (2011). Vertical-flow Constructed Wetlands as an Emerging Solution for Faecal Sludge Dewatering in Developing Countries. Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development 01 (1)

Kengne, I. M., Akoa, A., & Koné, D. (2009). Recovery of biosolids from constructed wetlands used for faecal sludge dewatering in tropical regions. *Environmental science & technology*, *43*(17), 6816-6821.

Koanda, H. (2006). *Vers un assainissement urbain durable en Afrique subsaharienne: Approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange* (Doctoral dissertation, Verlag nicht ermittelbar), p162

KONÉ D., M. STRAUS (2004). Les aspects de santé (pathogènes) liés à la gestion des boues de vidange in la gestion des boues de vidange, SANDEC/EAWAG. Université de Yaoundé I., p68

Kone, 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.

Koné D,. (2010) Making urban excreta and wastewater management contribute to cities'economic development: a paradigm shitt. *IW Publishing, Water Pollicy. 12 (4): 602-610*

Klingel, F., Montangero, A., Koné, D., & Strauss, M. (2002). Gestion des boues de vidange dans les pays en développement. *SANDEC/EAWAG Dübendorf: Suisse*. p57

Klutsée, A., A. H. Maiga, M. Kientga, E. Kaboui, E. Et et al., (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 de Dakar (Sénégal), p8

Klutsée, A., SANDEC-EPFL, E., & Koné, D. (2004). La collecte et le transport mécanisés des boues de vidange dans la ville de Ouahigouya (Burkina Faso).

Koottatep T., Surinkul N., Polprasert C., Kamal A.S.M., Koné D., Montangero A., Heinss U., Strauss M. (2005). Treatment of Septage in Constructed Wetlands in Tropical Climate: Lessons Learnt from Seven Years of Operation. Water Science & Technology 51 (9)

Langergraber G. & Muellegger E., 2005. Ecological Sanitationŕa way to solve global sanitation problems? Environment international, 31(3), 433-444

LANOIX J.N. et ROY M.L., 1976 . Manuel du technicien sanitaire ; Genève, OMS

Lina Aleke, A. (2016). *Evaluation des charges polluantes (domestiques et industrielles) arrivant au lac Kivu dans la ville de Bukavu, RD. Congo* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique), p241

Lorian K., Agnès M., Doulaye K., et Martin S., (2002). Gestion des boues de vidange dans les pays en développement, Manuel de planification, 1ère Edd

Malicki J., Montusiewicz A., Bieganowski A. (2001). Improvement of Counting Helminthes Eggs with Internal Standard. Research Note. Water Research 35 (9)

Mahamane I. 2011. Contribution à la gestion durable des boues de vidange de la ville de Ouagadougou : Caractérisation des boues et évaluation du dimensionnement des STBV de Kossodo et Zagtouli. Mémoire de Master spécialisé 2iE, Ouagadougou

Mara D.D. (2004). Domestic Wastewater Treatment in Developing Countries. Earthscan UK and US. ISBN 1-84407019-0

Mbéguéré M., Gning. J.B. (2009). Socio-Economic Profile of Domestic Faecal Sludge Emptying Companies. Sandec News. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland.

MEF (Ministère de l'Environnement et de la Foret). 2008. Réglementation des Rejets et Emissions des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

Mindele L. (2016). Caractérisation et tests de traitement des déchets ménagers et boues de vidange par voie anaérobie et compostage pour la ville de Kinshasa. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, p69

Montangero, A., and Strauss, M. (2002), Gestion des boues de vidange. *Eawag, Dübendorf, Suisse*.

Moeyersons J., Tréfois P. , Lavreau J., Alimasi D., Badriyo I., Mitima B., Mundala M., Munganga D., Nahimana L. (2003). On the origin of landslides in Bukavu, Democratic Republic of Congo. Engineering Geology

Monvois J., Gabert J., Frenoux C., Guillaume M. (2010). Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide, ps-eau/PDM, Guide méthodologique n°4

MÜLLER S. & RIJNSBURGER J., (1988). A Neighbourhood-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,

Mpakam, H. G., (2008), Étude de la vulnérabilité à la pollution des ressources en eau dans la ville de Bafoussam (Ouest Cameroun) et indices socio-économiques et sanitaires : modalités d'assainissement, Thèse de doctorat/PhD en sciences de l'ingénieur, option hydrochimie et assainissement, Université de Yaoundé I,

Ngahane, E. L. (2015). *GESTION TECHNIQUE DE L'ENVIRONNEMENT D'UNE VILLE (BEMBEREKE AU BENIN): Caractérisation et quantification des déchets solides émis; connaissance des ressources en eau et approche technique* (Doctoral dissertation, Université de Liège, Liège, Belgique), p123

NWSC (National Water and Sewerage Corporation) (2008). Kampala Sanitation Program (KSP) - Feasibility Study for Sanitation Master in Kampala, Uganda

OMS (2016). Planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement. Manuel pour une utilisation et une élimination sûre des eaux usées, des excrétas et des eaux ménagères. Organisation mondiale de la santé (OMS), Genève, Suisse. ISBN 9789242549249. Disponible sur www.who.int/water_sanitation_health/publications/ssp-manual/fr/

OMS/UNICEF (2015). Progress on sanitation and drinking water. 2015 update and MDG Assesment. Bibliothèque OMS. ISBN 978 92 4 1509145.

OMS/UNICEF (2013). Progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau – Rapport 2013. Bibliothèque OMS. ISBN 978 92 4 250539 9,

OMS/UNICEF (2010). Progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau. OMS-UNICEF

OřRIORDAM M., (2009). Investigation into Methods of Pit Latrine Emptying. Partners in Development WRC Project, 1745

ONEA 1993. Plan stratégique d'assainissement des eaux usées de la ville de Ouagadougou au Burkina Faso. Office National de l'Eau et de l'Assainissement, Ministère de l'environnement et de l'eau, Ouagadougou, Burkina Faso, 31p

PNUE-UNEP (2011). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo. Défis et Opportunités. Rapport technique. Nairobi, Kenya, p98

REHACEK, S., (1996). Gestion des boues de vidange dans la ville de Ouagadougou. Travail de diploma Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 65p

RODIER J., (2009), *Analyse de l'eau*, 9e Edition, Paris, pp543-612

SAVADOGO A., (1999). Etude du système de gestion des boues de vidange à Ouagadougou. Mémoire de fin dřétude, EIER, Ouagadougou, Burkina Faso.

Schmid M., Tietze K., Halbwachs M., Lorke A., McGinnis D. and Wüest A. (2003). How harzardous is the gas accumulation in Lake Kivu? Arguments for risk assesment in light of the Nyiragongo volcano eruption of 2002. Acta Vulcanologica. Vol.14 (1-2), 2002 - 15 (1-2), 2003: 115 - 122

SONEB (2010). Stratégie nationale de l'Assainissement des eaux usées au Bénin, Business Plan en vue de la mise en œuvre du plan dřaction à court terme (2010-2012)

Strauss, M., Koné and al (2006), *Gestion des Matières Fécales Urbaines -Situation, Défis et Solutions Prometteuses*, Water and Sanitation in Developping countries, Dakar-Sénegal

Strande, Linda, Ronteltap, Mariska, & Brdjanovic, D. (2018). *Gestion des Boues de Vidange: Approche intégrée pour la mise en œuvre et l'exploitation*. IWA Publishing, p285

STEINER M., MONTANGERO A., KONE D. and STRAUSS M., (2002). Economic aspects of low cost faecal sludge management: Estimation of collection, haulage, treatment and disposal/reuse cost. Eawag/Sandec, Dübendorf, Switzerland

STRAUSS, M., and MONTANGERO A., (2002). Capacity building for effective decentralized wastewater management: FS management Ŕ review of practices, problems andinitiatives. EAWAG/SANDEC, GHK Engineering Knowledge and Research Project ŔR8056

Sy, I., Keita, M., Traoré, D., Koné, B., Bâ, K., Wedadi, O. B., ... & Cissé, G. (2014). Eau, hygiène, assainissement et santé dans les quartiers précaires à Nouakchott (Mauritanie): contribution à l'approche écosanté à Hay Saken. *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, p32

Tapsoba FW, Keré FD, Diarra J, Barry A, Sawadogo-Lingani H, Dianou D, Dicko MH. (2016). Etude de l'évolution des éléments précurseurs d'eutrophisation des eaux du Barrage n°3 de Ouagadougou, Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(2)

Thye Y.P., Templeton M.R. and Ali M. (2009). Pit latrine emptying: technologies, challenges and solutions. Paper presented in EWB-UK Research Conference, The Royal Academy of Engineering, London, 20 February

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Schertenleib, R. and Zurbrügg, C., (2008). Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland. Deuxième édition (en anglais, 2014), édition française 2016, p95

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., Schertenleib, R. and Zurbrügg, C., (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies. 2nd Revised Edition. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Switzerland. Deuxième édition (en anglais, 2014), édition française 2016, p95

UNEP (2013). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo: Défis et opportunités. Rapport technique. Nairobi, Kenya, p94.

USEPA (1994). Guide to Septage Treatment and Disposal. EPA/625/R-94/002, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Washington

Wethé, J., Radoux, M., & Tanawa, E. (2003). Assainissement des eaux usées et risques socio–sanitaires et environnementaux en zones d'habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *VertigO-la revue électronique en sciences de l'environnement*, *4*(1).

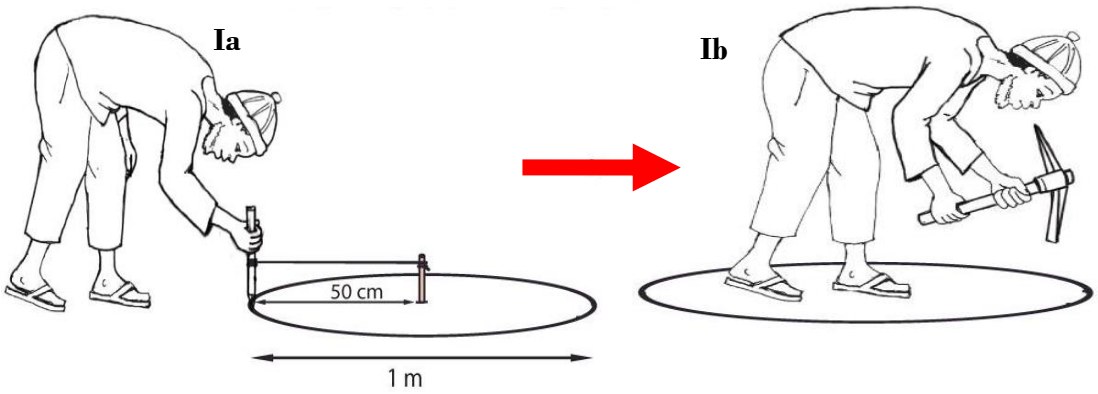
WSP (2008). Technology Options for Urban Sanitation in India. A guide to Decision- aking. WSP New Delhi

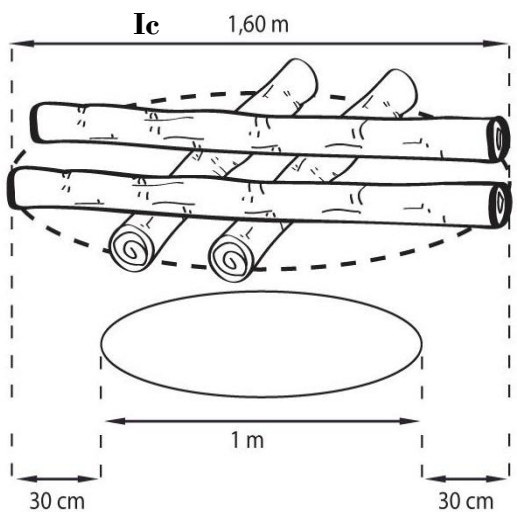
Yen-Phi, V.T., Rechenburg, A., Vinneras, B., Clemens, J., Kistemann, T. (2010). Pathogens in septage in Vietnam. Science of the Total Environment, 408 (9) : 2060-203

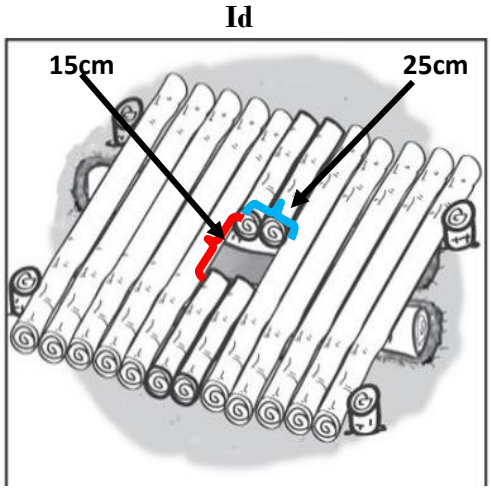
Youssef el Guamri et Belghyti, (2007). Contamination des eaux usées du réseau d'assainissement liquide par les œufs d'helminthes parasites (cas de la ville de Kénitra, Maroc). Rev. Microbiol. Ind. San. Et Environn, p7

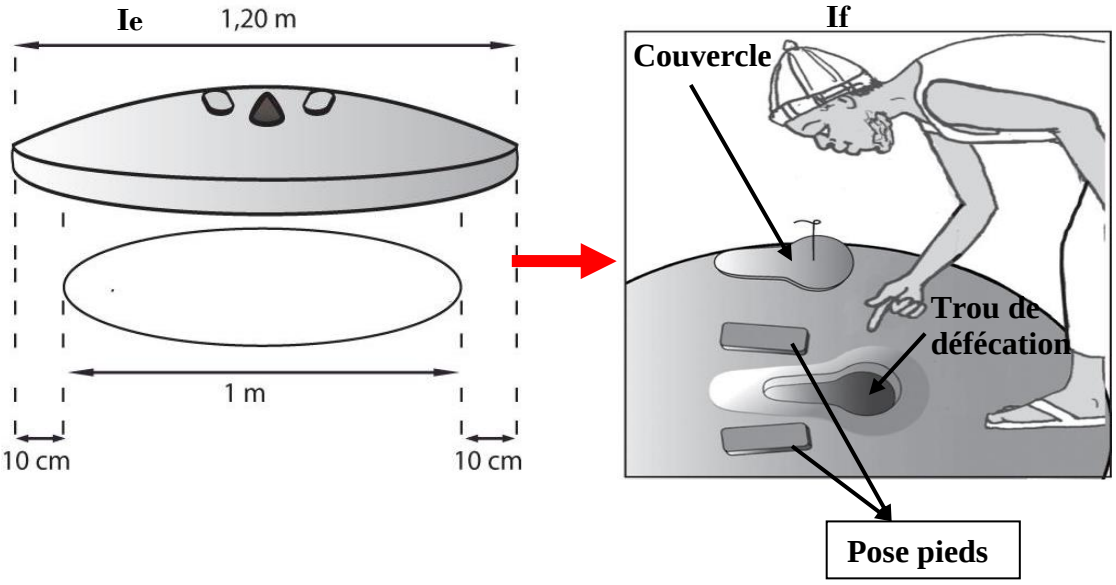
ANNEXES

ANNEXE I / Latrines traditionnelles









Annexe II/ Quelques une des toilettes observées dans la ville de Bukavu



Toilettes à chasse manuelle « pour certains ménages de MS »



Toilettes à chasse mécanique « pour certains ménages de HS »





Latrines traditionnelles « pour certains ménages de BS»

Annexe III/ Certaines pratique d'évacuation des boues de vidange



Enterrement des boues vidangées



Rejet des boues dans les caniveaux



Vidange manuelle dans la ville de Bukavu



Vidange mécanique





Conduite des excrétas dans une rivière/ caniveau

Annexe IV/ Questionnaire d'enquête

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de la recherche de Master sur le thème : Gestion des boues de vidange, impacts sur la santé humaine et son milieu de confort : Ville de Bukavu en République Démocratique du Congo (RDC). Il s'agit d'un travail de recherche dans le cadre de Master en Environnement/Université du Burundi, dont les résultats ne pourront faire l'objet de publication qu'à des fins scientifiques. En outre, personne ne saurait être inquiétée pour les réponses fournies. Nous vous remercions de votre collaboration.

I. IDENTIFICATION

Nom de la commune…..…….Quartier …… Cellule…….…. Avenue…….
Nombre d'habitants par ménage (maison) ? ……..…….…….…….
Combien de ménages dans la parcelle? ……..…..…….
Types des maisons : □n planches □ En semi-durable □ En matériau durable
Total de personnes vivant dans la parcelle? …….…….
Age de l'enquêté □ Sexe : M□ F □
Niveau d'instruction
Primaire □ Secondaire □ Supérieur □ Universitaire □Sans
Quelles sont vos activités ?..... Quels sont vos revenus ?.....

II. SOURCES D'APPROVISIONNEMENT EN EAU

Quelle (s) est (sont) la (le) source (s) d'approvisionnement en eau dans votre ménage ?
Régideso □ Pluie□ Puits □ Lac-Kivu□ Rivière Ruzizi□

Autres sources (à préciser) ……..……..……
Pourquoi vous l'(les) avez choisie (s) comme source d'approvisionnement……
Quelle est la distance qui sépare votre habition du lieu de ravitaillement en eau ? ……
Etes-vous abonné à cette source d'approvisionnement en eau ? Oui □ Non □
Si oui, laquelle ?.....
Disposez- vous de l'eau à votre domicile ? (dans la parcelle) ……
Si oui, le robinet est-il : □ Dans la maison □ A l'extérieur
Quel est le coût moyen de votre facture de consommation mensuelle ? …….
Etes-vous abonnés ou achetez-vous de l'eau ? □Oui □Non
Si oui, quelle quantité d'eau consommez-vous en moyenne par jour ?
15 litres□ 20 litres □ 30 litres □ 40 litres□ 50 litres □ 60 litres□
Combien payez-vous par jour pour avoir cette quantité?…….……
Quels types de récipients utilisez-vous pour stocker de l'eau ? …….
Sont-ils couverts ? …… Durée de stockage ?.....
Enregistrez-vous des périodes de pénurie d'eau ? Oui □ Non □
Si oui, lesquelles ?.....
Apportez-vous de traitements à l'eau avant la consommation? Oui □ Non□

Si oui, par quelle méthode
□ Eau de javelle □ Sulfate d'alumine (Alun : $AL_2(SO_4$□B)
□ Chauffage
Pots diffuseurs d'hypochlorite de calcium (puits) □ Autres
Si non, pourquoi…….……..……
Pensez-vous que la qualité d'eau vous fournie est convenables à votre santé ?
Oui□ Non □ Pourquoi …….
Quelles sont vos suggestions pour une bonne alimentation en eau ? …….....

III. ASSAINISSEMENT

Quel système d'assainissement utilisez-vous dans votre quartier?
Collectif ☐ autonome ☐

Si vous faites recours à l'assainissement autonome, quel est le mode d'assainissement des excrétas disposez- vous dans votre ménage ?

☐ Latrines traditionnelles à fond perdu ?
☐ Toilettes modernes avec fosse septique et/ou puisard ? ☐ Latrine à canon ?
☐ Latrines à chasse manuelle ? ☐ Latrines VIP ? ☐ Latrines à siphon ?
☐ Autres (à préciser)……..……..……

Comment gérez-vous les eaux usées (grises et noirs) produites dans votre ménage ?
Rejet dans la parcelle ☐ Rejet dans la rivière (collecteur) ☐ Puits perdant ☐
Autres (à préciser) …….……..

Tous les membres de la famille accèdent-ils facilement aux toilettes ? Oui ☐ ☐ Non
Si oui, quel type de difficulté rencontrée ? ……

Les toilettes sont-elles aussi utilisées comme douche ? Oui ☐ Non ☐
Si oui, ne craignez-vous pas que la fosse septique se remplisse vite ? ……..
Si non, pourquoi ……..……
Votre latrine présente-t-elle souvent des problèmes ? Oui ☐ Non ☐
Si oui, quels sont les problèmes que pose cette latrine ? ……
Que faite-vous en cas de remplissage de votre fosse septique ?
Réalisation d'une autre fosse ☐ Vidange ☐ Autres (à préciser) ……
Si c'est la vidange, comment cela se fait-il ?
Par camion spécialisé ☐ Manuellement ☐ Autres (à préciser)……..
Quel est le facteur qui détermine le choix de ce type de vidange
☐ Son coût ☐ Sa facilité ☐ Autres (à préciser) : ……..
Si c'est la vidange manuelle, qui le fait ?
Membres de la famille ☐ Tâcheron ☐ Autres (à préciser) :…….
Lorsque vous vidangez manuellement, quelles mesures d'hygiène utilisez-vous?

Où déposez-vous les boues vidangées ?
Dans votre parcelle ☐ Rivière (collecteur) ☐ Autres (à préciser) ……..
Existe-t-il un service spécialisé (public ou privé) en charge de BV ? Oui ☐ Non ☐
Si oui, lequel …….……..
Si c'est par camion spécialisé, quelle est la destination des boues ?
Dans la nature ☐ Dans une STEP ☐ Autres (à préciser) :…….
La maison est-elle accessible au Camion vidangeur ? Oui ☐ Nom ☐
Si non, pourquoi …….……..
Quels sont les critères qui président au choix du type de vidange
Coût ☐ Qualité de service ☐ Accessibilité ☐ Autres (à préciser) ……
Quelle est la fréquence de vidange de votre ouvrage (période entre deux vidanges)?
Combien la dernière vidange vous a-t-elle coûté ? ……
Que pensez-vous de ce Tarif ?
Très cher ☐ Cher ☐ Abordable ☐ ☐ Bas Autres (à préciser) : …….

ENTRETIEN AVEC LES ENTREPRISES DE VIDANGE

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de la recherche de Master sur le thème : Gestion des boues de vidange, impacts sur la santé de humaine et son milieu de confort : Ville de Bukavu en R.D.Congo

Il s'agit d'un travail de recherche et les résultats ne seront publiés qu'à des fins scientifiques. En outre, personne ne saurait être inquiété pour les réponses fournies. Nous vous remercions de votre collaboration

Nom de l'enquêteur……Date de l'enquête……, Heure : début……. Fin…….

I – IDENTIFICATION DE L'ETABLISSEMENT

Les informations recueillies dans ce questionnaire sont confidentielles.

Renseignements administratifs et généraux :

I-1- Nom de l'établissement : ……

I-2- Adresse de l'établissement ……..……..….

I-3- Boîte postale : ……..……..……..

I-4- Quartier : …… … Rue : ……..……..

I-5- Téléphone : …….. Fax : ……..……..…..

I-6- Fonction de la personne répondant au questionnaire : ……..….

I-7- Chiffre d'affaires (dernier exercice connu) : ……..…….

I-8- Nombre d'employés : ……..…..……..……..…….

I-9- Nombre et capacité (L ou m^3) de chaque camion : ……...…….

II - NATURE, FREQUENCE ET QUANTITE DES DECHETS LIQUIDES ELIMINES

II-1 Comment sont en général les boues vidangées dans votre ville ?

Liquides☐ Pâteuses ☐ ☐ Autres (à préciser) :…….

II-2 Usage des camions ?

Quantités hebdomadaires (m^3) : ……,Mesurée (M) : …… Estimées (E) :……

II-3 A quoi servent vos camions ?

☐ Élimination des eaux usées ☐ Vidange des huiles moteurs

☐ Élimination des excrétas ☐ Puisage d'eau

☐ Autres (à préciser) : ……..……..……..

II-4 Quelle est la fréquence de voyage vers le site de dépotage effectuée par chaque camion ?

☐ Tous les jours ☐ Entre 3 et 6 fois par semaine

☐ Entre 1 et 3 fois par semaine ☐ Une fois par mois

II-5 Quel est le taux de remplissage de chaque camion à chaque rotation au site de dépotage

☐ 100 % 75 % ☐50 % ☐25 % ☐ Autres

II-6 Quelles sont les principales structures desservies (hiérarchiser en attribuant des chiffres par ordre croissant) ?

☐ Ménages : …… ☐ Restaurants, auberges, hôtels : …….

☐ Établissements commerciaux : Établissements publics (écoles, ministères, etc.) :

☐ Représentations diplomatiques : ……, ☐Autres : ……..…

II-7 Pour quel (s) quartier(s) (zones) collectez-vous les matières de vidange? ……..……..

II-8 Quels sont les types d'ouvrages vidangés (par ordre d'importance) ? ……..……..…….

II-9 Où est ce que vous déversez les boues vidangées?…….

II-10 Le lieu de déversement des boues de vidanges est-il localisé :

☐ Dans la ville ☐ En dehors ? Autres (à préciser) :……

III - TRAITEMENT ET VALORISATION DES EAUX ET BOUES

III-1 Les boues vidangées sont-elles traitées ? ☐ Oui ☐ Non

Si Oui, traitez-vous vous-même vos déchets……..……..

III-2 Si vous sous-traitez, quel est le nom de l'entreprise responsable du traitement ?

……..……..

III-3 Quel type de traitement faites-vous subir aux eaux usées et excrétas vidangées ?

☐ STEP ☐ Lagunage ☐ Filtre à sable ☐ Autres (à préciser) : ……

III-4 Rincez-vous vos cuves avec un produit de désinfection ? ☐ Oui ☐ Non

☐ Si oui avec quels produits ? ……..…….……..

☐ Avec quelle fréquence ?

☐ Après chaque vidange ? ☐ Tous les jours ?

☐ A la fin de la semaine ? ☐ A la fin du mois ?

III-5 Que faites-vous des eaux de rinçage ?

☐ Rejet brut dans la nature ☐ Autres (à préciser) :

☐ Rejet dans la station d'épuration ?

IV - COUT DE VIDANGE

IV -1 Sur quels critères le prix de la vidange est-il fixé? (plusieurs réponses possibles)

☐ Les prix sont fixes (ne varient pas) ☐ Suivant le type de fosse

☐ Suivant l'éloignement du site de dépotage ☐ Suivant le volume vidangé

☐ Suivant la difficulté d'accès dans le quartier ☐ Suivant le nombre de voyages

☐ Suivant le type de structure (ménage, entreprise,…)

☐ Curage entier de la fosse ☐ Autres (à préciser) : …….

IV -2 A combien estimez-vous le coût minimal d'une vidange dans un ménage ? ……

V - DIFFICULTES DU METIER DE LA VIDANGE MECANIQUE

V -1 Quelles difficultés rencontrez-vous dans l'exercice de votre métier ?

☐ Manque de site de dépotage de boues ☐ Éloignement du site de dépotage

☐ Manque d'informations sur les filières de traitement existantes

☐ Manque d'informations sur les filières de valorisation existantes

☐ Insuffisance de la réglementation ☐ Maladies récurrentes en lien avec l'eau

☐ Coûts d'évacuation élevés ☐ Beaucoup de taxes

☐ Autres (à préciser) : …….…….