

Faculté des Sciences

Unité Assainissement et Environnement

Evaluation des charges polluantes (domestiques et industrielles) arrivant au lac Kivu dans la ville de Bukavu, RD. Congo

Dissertation présentée par

Alex LINA ALEKE

en vue de l'obtention du grade de

Docteur en Sciences

Composition du Jury

Président : Pr Philippe ANDRE (Université de Liège, Belgique)

Promoteur : Dr Mohamed BOUEZMARNI (Université de Liège, Belgique)

Co-Promoteurs: Pr Jean-Luc VASEL (Université de Liège, Belgique)

Pr Jean-Berckmans MUHIGWA (Université officielle de Bukavu, RD.Congo)

Membres : Ir Louis VANDEVENNE (Université de Liège, Belgique)

:Dr Chema KEFFALA (Institut Agronomique de Chott Mériem, Tunisie)

Année académique 2015-2016

Dédicace

A

Charlotte BISIMWA mon épouse

Jonh-Peter LINA et Junior LINA mes fils

Riane LINA, Joyce LINA et Johanna LINA mes filles,

Mon père et ma mère

Tous ceux qui me sont chers

Remerciements

En écrivant ces quelques lignes, je me fais le devoir de remercier d'abord du plus profond de mon cœur le Dieu Tout Puissant, créateur de l'univers, pour ce don de patience et du courage tout au long de la réalisation de cette thèse.

J'adresse spécialement ma gratitude au Professeur VASEL Jean-Luc pour avoir accepté d'encadrer cette thèse. Ses remarques pertinentes, sa rigueur scientifique et sa disponibilité ont permis l'aboutissement du présent travail.

Ma gratitude s'adresse particulièrement au Dr Mohamed BOUEZMARNI pour avoir accepté de promouvoir cette thèse en remplacement de Monsieur VASEL parti en retraite avant la fin de ces travaux. Je remercie très vivement Professeur MUHIGWA BAHANANGA Jean-Berckmans, Co-promoteur de cette thèse, pour les efforts consentis lors de ces travaux.

Mes vifs remerciements s'adressent au Professeur Philippe ANDRE pour avoir accepté de présider le jury chargé d'examiner ce travail, ainsi qu' à l'Ingénieur VENDEVENNE Louis et au Docteur KEFFALA Chema pour avoir accepté d'intégrer ce jury.

Qu'il me soit permis de remercier les membres de l'unité Assainissement et Environnement: Ingénieur Hugues JUPSIN, Docteur Fouad ZOUHIR; Madame et Messieurs Corine ANTOINE, Jean-Philippe NALINNES et David WAGNER. Je pense également à tous les anciens de cette unité, notamment Docteurs Céline SIKULISIMWA, Galleguillos-Torres MARCELO, Casimir HARERIMANA, Dehenould Trésor BAYA, Mouhamadou Dine LIADY, Thierry TANGO TABOU, Gaston NSAVYIMANA, Patrice BIGOUMANDONDERA et Emilienne Laure NGAHANE. Je remercie spécialement le doctorant Léonard MINDELE UKONDALEMBBA de l'Unité Assainissement et Environnement et Mademoiselle HIND HADDANI de l'Université de Cadi AYYAD/Marrakech-Maroc pour les différents échanges scientifiques et l'ambiance amicale.

Je remercie sincèrement Chantal BARTHOLOME, Catherine HEYMAN, Françoise DASNOY, Lucia GUERMANT, Lisbeth FONTAINE, Roger THILL, Thomas BARTHEL, Antoine DENIS pour la collaboration entretenue. Que Clarisse BALEGAMIRE, IGERA, Alain NDONA, Martin, Dieudonné MULOPO, Edouard MIBEYA, Arthur KITOKO, Chouchou MUJARWANDA, Théo HERMANS, Dr PALUKU, Alphonse MAINDO, Gaby MAINDO, Louis AMANI, Aurélien OLISSAN, HABIBOU, HAMID, Aziz DIOUF trouvent ici l'expression de ma gratitude.

Ma gratitude s'adresse aux personnels de l'UOB et de CEBEDEAU, et aux amis: Claude LIFETA, Doudou KAGANDA, Altor MUSEMA, Bienfait KALINDA, Bebel MITIMA, Franck LUTILI, Claude WAKEKA, Georges ALUNGA, Kaps LUMAMI pour diverses interventions.

Je pense à la Coopération Technique Belge pour son appui financier et l'octroi de la bourse, également l'ARES-CCD pour l'octroi des subsides de finalisation de thèse. Enfin, que toutes les personnes qui de près ou de loin, ont apporté une pierre à la réalisation de cette thèse, trouvent ici l'expression de mes remerciements les plus sincères.

Résumé

Dans les pays en développement (PED) en général, et plus particulièrement en République Démocratique du Congo (RDC), le développement des villes et l'augmentation des populations urbaines se font avec une rapidité telle que l'accessibilité à l'eau potable et à l'assainissement de base pose un problème croissant de santé publique et de bien-être des populations. Le manque d'expertise et des moyens techniques et/ou financiers ne permet pas de mettre en place des programmes cohérents et adaptés aux réalités et défis que connaissent ces pays. C'est dans cette optique que la présente étude qui porte sur la caractérisation des eaux résiduaires domestiques et industrielles générées dans la ville de Bukavu, a été menée en vue d'évaluer les flux des pollutions arrivant dans le lac Kivu. Différents axes de recherche ont été ainsi exploités pour répondre à cet objectif. Ce sont : l'évaluation de l'assainissement non collectif (ANC), la caractérisation des flux polluants générés par les activités domestiques et industrielles, et l'analyse critique des atouts naturels (physiques, géologiques, hydrogéologiques, etc.) de la ville de Bukavu en vue de mettre sur pied des filières permettant un assainissement correct et la protection du lac Kivu.

L'évaluation de l'assainissement a été basée sur une démarche sociologique faisant appel à des techniques d'enquêtes et d'observation de terrain. Une approche d'évaluation par un indicateur découlant de la combinaison des indicateurs mis en place au prorata des trois maillons composants une filière d'ANC (amont, intermédiaire et aval) a été utilisée. Les résultats obtenus montrent un faible niveau d'accès à l'eau potable et à l'assainissement de base qui serait lié à des facteurs historiques, physiques, politiques, et socio-économiques. De plus, un effort considérable reste à faire pour la gestion du maillon aval car la gestion des boues produites se fait pour le moment de manière non conforme. Par ailleurs, la densité de la population, en pleine croissance, nécessite une politique de construction de logements bien appropriée.

Réalisée au niveau des émissaires domestiques (ITFM, Rukumbuka, PIR, Nyamugo et Bagira) et des rivières (Bwindi, Tshula, Wesha et Kahwa) qui traversent Bukavu, la caractérisation des flux de pollutions domestiques a été menée au travers des méthodes physicochimiques et microbiologiques. Elle a permis d'apprécier l'importance des risques sanitaires qu'encourent les habitants de Bukavu dans leur quotidien, ainsi que l'ampleur des pressions que subit le lac qui en est le réceptacle. De la même manière, notre étude s'est intéressée aux flux produits des pollutions industrielles brassicoles et pharmaceutiques, suivant une approche physicochimique. Il ressort de ces analyses que les émissaires domestiques constituent le cadre de premier choix adopté par les habitants pour le rejet de leurs déchets. Ce faisant, les rivières de la ville font l'objet d'importantes pollutions engendrées par les activités domestiques, et constituent des égouts à ciel ouvert. Les flux évacués et arrivant quotidiennement dans le lac vont de 2165 kg (rivière Bwindi) à 5974 kg DBO₅ (rivière Kahwa).

en saison sèche, et de 5303 kg (rivière Bwindi) à 14270 kg DBO₅ (rivière Kahwa) en saison de pluie, correspondant aux charges totales respectives de 7468 kg DBO₅ et 20244 kg DBO₅. Les flux des pollutions microbiologiques ont été évalués à $2,3 \cdot 10^9$ UFC/EH DBO₅ pour la rivière Bwindi et $6 \cdot 10^9$ UFC/EH DBO₅ pour la rivière Kahwa en ce qui concerne les coliformes fécaux, et 2800 œufs/EH DBO₅ (rivière Bwindi) et 4185 œufs/EH DBO₅ (rivière Kahwa) pour les parasites. En outre, 11 taxons de parasites ont été identifiés. Ce sont : *Entamoeba coli*, *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*, *Ascaris* sp. (taxon le plus distribué), *Ankylostomasp.*, *Strongyloides* sp., *Trichuris trichiura*, *Hymenolepis nana*, *Hymenolepis diminuta*, *Taenia saginata* et *Schistosoma mansoni*. Recevant les eaux de 4 de 5 émissaires domestiques étudiés, la rivière Kahwa s'est avérée comme la plus polluée des rivières de Bukavu. Concernant les pollutions industrielles, pour chaque litre de boisson (bières et boissons gazeuses confondues), la société brassicole Bralima utilise entre 4,7 et 5,7 l d'eau, avec une moyenne de 5,1 l. Les pollutions spécifiques s'établissent entre 1,2 et 1,6 kg DCO/hl, et 0,2 et 0,4 kg MES/hl de produits finis, avec une charge globale évaluée 194,1 kg DCO par jour, avant traitement. L'abattement des pollutions dans la station d'épuration de cette société brassicole devrait être amélioré en vue de réduire ses pressions sur le lac et les risques sanitaires auxquels sont exposées les populations. Quant à la Pharmakina, la charge globale des pollutions, évaluée à 1229,2 kg DCO par jour, arrive dans le lac Kivu sans aucun traitement préalable, constituant ainsi de graves menaces environnementales et écologiques imputables à sa responsabilité.

La gestion approximative du foncier dans la ville de Bukavu, le caractère argileux des sols et accidenté de la topographie, dans un contexte à pluviométrie élevée (109,5 mm en moyenne mensuelle), montrent les limites de l'ANC. Il est temps de songer à l'assainissement collectif et à revaloriser les déchets (liquides et solides), en profitant de leurs atouts combustibles ou comestibles (drèches brassicoles).

Ainsi, les résultats obtenus pourraient aider à la promotion et à la prise de conscience de la question de l'assainissement en RDC et dans les PED, en vue d'une réponse adéquate aux enjeux sanitaires et environnementaux qui s'y posent.

Mots clés: Flux polluants, effluents domestiques, effluents industriels, station d'épuration, rivières, République Démocratique du Congo

Summary

In developing countries in general, and particularly in the Democratic Republic of Congo (DRC), the urbanization rate and noticeable population growth, associated with a lack of adequate policies, pose major public health issues linked to a difficult access to drinking water and basic sanitation. The lack of expertise and technical and/or financial resources prevents from establishing consistent programs adapted to the realities and challenges faced by these countries. The general objective of our study was to characterize domestic and industrial wastewaters generated in the city of Bukavu, and the flux of pollution arriving into the Lake Kivu. More specifically, we assessed the on-site sanitation sector in Bukavu, characterized pollutants fluxes from domestic and industrial activities, and performed a critical analysis of Bukavu natural assets (e.g. physical, geological, hydrogeological, etc.) for establishing channels to proper sanitation and protection of the Lake Kivu. The assessment of on-site sanitation was based on a sociological approach involving surveys and field observation techniques. A global indicator was developed based on a combination of various indicators describing the three parts of a given on-site sanitation system (i.e., upstream, intermediate and downstream). Results show a low level of access to safe drinking water and basic sanitation, which were linked to historical, physical, political, and socio-economic conditions. Considerable efforts are still needed to better manage the downstream part of sanitation systems, namely sludge management. Furthermore, the growing population density requires a suitable and adequate housing construction policy.

The characterization of domestic pollution fluxes was carried out through physicochemical and microbiological methods. The domestic emissaries analysed were ITFM, Rukumbuka, PIR and Bagira. This characterization also allowed assessing health risks severities of the inhabitants of Bukavu in their daily lives, and the extent of pressures on the lake Kivu (which is the receptacle of those flows). Moreover, flows from brewing and pharmaceutical industries were sampled and analysed using a physicochemical approach. The analyses revealed that the four rivers crossing the city (i.e., Bwindi, Kahwa, Tshula, Weshu) were subject to noticeable pollution generated by domestic activities, and constituted open sewers for the inhabitants. Loads evacuated and arriving daily in the lake Kivu ranged from 2,165 kg (Bwindi river) to 5,974 kg BOD₅ (Kahwa river) in the dry season, and from 5,303 kg (Bwindi river) to 14,270 kg BOD₅ (Kahwa river) in the rainy season. The flow of microbiological pollution was evaluated to $2.3 \cdot 10^9$ CFU/BOD₅/capita/day for Bwindi river and $6 \cdot 10^9$ CFU/BOD₅/capita/day for Kahwa river regarding faecal coliforms, and 2,800 eggs/BOD₅/capita/day (Bwindi River) and 4,185 eggs/BOD₅/capita/day (Kahwa river) for parasites. In addition, 11 taxa of parasites were identified. They were: *Entamoeba coli*, *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*, *Ascaris sp.* (most distributed taxon), *Ancylostoma sp.*, *Strongyloides sp.*, *Trichuristrichiura*, *Hymenolepis nana*, *Hymenolepis diminuta*, *Taeniasaginata* and *Schistosoma mansoni*. Receiving waters from 4 out of 5 domestic emissaries, Kahwa river was the most polluted rivers in Bukavu. Regarding industrial pollutions, for each litre of beverage (beer and soft drinks combined), 4.7 to 5.7 L of water (5.1 L on average) were used by the brewing company Bralima. The specific pollution quantities varied from 1.2 to 1.6 kg COD/hL, and from 0.2 to 0.4 kg SS/hL of finished products, with an overall charge of 194.1 kg COD/day. The reduction of pollution in the

sewage treatment plant of this brewing company should be improved in order to reduce its pressure on the lake and associated health risks. As for the Pharmakina industry, the overall pollution charge, of 1,229 kg COD/day, arrived in Lake Kivu without any prior treatment, constituting thus serious environmental and ecological threats.

Inefficient land management plan, a clay nature of its soils and a rugged topography, associated with very humid conditions (average monthly rainfall of 109.5 mm) were among the hurdles for good and efficient on-site sanitation in Bukavu. There is an urgency for policy makers to improve public sanitation systems and promote ways of waste valuation (for example brewing malts as fuels). Our findings can also assist in the promotion and awareness of sanitation issues for an adequate response to associated public health and environmental issues in DRC and other similar developing countries.

Keywords: Pollutant flows, domestic sewage, industrial effluents, sewage treatment plant, Democratic Republic of the Congo

Productions scientifiques

Lina A.A, Buregea H., Mindele U., Bouezmarni M., and Vassel J-L. (2015). Parasitological loads of rivers crossing the city of Bukavu, Democratic Republic of Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, ISSN 2351-8014, Vol. 19 No. 2, pp. 412-422.

Mindele U.L., Lina A.A, Ngahane E.L., Musibono E.D. et Vassel J.L. (2014). La valorisation des déchets ménagers organiques et des boues de vidange de fosses septiques par digestion anaérobie. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. ISSN: 2351-8014. Article accepté et sous presse.

Lina A.A., Wakeka K.C., Lutuli M.F., Muhigwa B.J-B., Vassel J-L. (2016). Questions d'assainissement à l'Est de la République Démocratique du Congo (RDC): Prévalence des parasites intestinaux chez les enfants d'âge préscolaire dans la structure urbaine non planifiée à Bukavu. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. (Article accepté le 14 janvier 2016).

Gizanga V.R., Musibono E.D., Lina A.A., Milau E.F. (2016). Contribution à l'évaluation de la qualité des effluents industriels et de leurs impacts sur les milieux récepteurs (ville de Kinshasa-République Démocratique du Congo, RDC). *International Journal of Innovation and Scientific Research*. (Article accepté le 5 janvier 2016).

Table des matières

Dédicace	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Summary	v
Productions scientifiques	vii
Table des matières	viii
Liste des figures	xv
Liste des tableaux	xvii
Liste des annexes.....	xix
Liste des abréviations	xx
INTRODUCTION GENERALE	1
1. Contexte, problématique, objectifs du travail	1
2. Structure de la thèse	4
Références bibliographiques.....	5
CHAPITRE I. ETAT DE L'ART DE L'ASSAINISSEMENT EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE	6
1.1 Situation globale en Afrique subsaharienne	6
1.1.1 Aspects réglementaire et institutionnel.....	6
1.1.2 Population et urbanisme	8
1.1.3 Accès à l'eau potable et à l' assainissement.....	9
1.1.4 Aspects socio-économiques	10
1.1.5 Pratiques usuelles de la gestion urbaine des ressources en eau	12
1.2 Etat de l'assainissement en République Démocratique du Congo.....	14
1.2.1 Aspects réglementaire et institutionnel.....	14
1.2.2 Population et urbanisme	16
1.2.3 Ressources en eau	17
1.2.4 Accès à l'eau potable et à l'assainissement.....	18
1.2.4.1 Accès à l'eau potable	18
1.2.4.2 Accès à l'assainissement.....	19
1.2.5 Aspects socio-économiques	21
1.3 Synthèse des travaux consultés	22
Conclusion	26
Références bibliographiques.....	26

CHAPITRE II. PRESENTATION DE LA VILLE DE BUKAVU	33
2.1 Aspects géographique, géomorphologique, géologique et biologique	33
2.2 Population et urbanisation.....	37
2.3 Ressources en eau et accès à l'eau potable	39
2.3.1 Ressources en eau	39
2.3.2 Accès à l'eau potable.....	41
2.4 Accès à l'assainissement.....	41
2.4.1 Principaux acteurs et gestion des eaux résiduaires	41
2.4.2 Maladies liées à l'eau à Bukavu	42
2.4.3 Cadre sociotechnique lié à l'eau.....	43
Conclusion	44
Références bibliographiques.....	44
CHAPITRE III. GENERALITES SUR L'ASSAINISSEMENT LIQUIDE.....	46
3.1 Caractérisation des eaux usées: domestiques et industrielles	46
3.1.1 Eaux usées domestiques	46
3.1.1.1 Origine des eaux usées domestiques	46
3.1.1.2 Volume des eaux usées domestiques	46
3.1.1.3 Qualité des eaux usées domestiques	47
3.1.1.3.1 Paramètres de pollution organique/inorganique	48
3.1.1.3.2 Paramètres de pollution microbiologique	54
3.1.1.4 Equivalent-habitant (EH)	57
3.1.2 Eaux usées industrielles.....	57
3.1.2.1 Origine et composition des effluents industriels	57
3.1.2.2 Nature des pollutions et normes de rejet d'ERI	58
3.2 Assainissements non collectif et collectif.....	59
3.2.1 Assainissement non collectif et son fonctionnement	59
3.2.1.1 Maillon amont	59
3.2.1.2 Maillon intermédiaire.....	61
3.2.1.3 Maillon aval	62
3.2.2 Assainissement collectif	65
3.2.2.1 Egouttage	65
3.2.2.1.1 Système unitaire.....	66
3.2.2.1.2 Système séparatif	66

3.2.2.1.3 Système pseudo-séparatif.....	67
3.2.2.1.4 Système mixte	67
3.2.2.2 Traitement des eaux usées: procédés biologiques	67
3.2.2.2.1 Métabolisme et réactions biologiques.....	67
3.2.2.2.2 Traitement des nutriments	70
3.2.2.2.2.1 Elimination du carbone	70
3.2.2.2.2.2 Elimination de l'azote	71
3.2.2.2.2.3 Elimination du phosphore	73
3.2.2.2.2.4 Etapes de traitements des eaux usées	73
3.2.2.2.3 Procédés de dépollution.....	73
3.2.2.2.4 Réacteurs séquentiels	75
3.2.2.2.4.1 Principe et historique	75
3.2.2.2.4.2 Mode de fonctionnement du SBR.....	75
3.3 Impact de la pollution sur l'environnement.....	77
Références bibliographiques	78
CHAPITRE IV. GESTION DE L'EAU ET PROFIL SANITAIRE DANS LA VILLE DE BUKAVU	81
4.1 Introduction.....	81
4.2 Matériel et méthodes.....	83
4.2.1 Zone d'étude.....	83
4.2.2 Enquête-ménages.....	83
4.2.2.1 Elaboration du questionnaire.....	83
4.2.2.2 Formation des enquêteurs	84
4.2.2.3 Critère d'échantillonnage	84
4.2.2.4 Echantillonnage et déroulement des enquêtes	85
4.2.2.5 Dépouillement des résultats	85
4.2.2.6 Limites de la méthode	85
4.2.2.7 Elaboration d'une base de données.....	86
4.2.2.8 Traitement de données	87
4.2.3 Calcul de l'indicateur global d'ANC.....	87
4.3 Résultats et discussion	88
4.3.1 Caractéristiques générales des ménages enquêtés	88
4.3.2 Traitements croisés des résultats d'enquête	90
4.3.3 Etablissement d'un indicateur d'ANC dans la ville de Bukavu	107

4.3.4 Choix des critères et évaluation des alternatives.....	108
4.3.4.1 Critères de classement des alternatives pour l'Indicateur I_1	108
4.3.4.2 Critères de classement des alternatives pour l'Indicateur I_3	109
4.3.4.3 Critères de classement des alternatives pour l'Indicateur I_4	110
4.3.4.4 Critères de classement des alternatives pour l'Indicateur I_5	111
4.3.5 Classement des alternatives d'indicateurs selon ELECTRE I.....	112
4.3.6 Agrégation des indicateurs en indicateur unique par le Composite Programming.....	113
Conclusion	117
Références bibliographiques	117
CHAPITRE V. LA CARACTERISATION DES EAUX RESIDUAIRES DOMESTIQUES DANS LA VILLE DE BUKAVU	121
5.1 Introduction.....	121
5.2 Matériel et méthodes.....	124
5.2.1 Milieu d'étude	124
5.2.1.1 Rivières	124
5.2.1.2 Collecteurs.....	126
5.2.2 Méthodologie	127
5.2.2.1 Débit	127
5.2.2.2 Echantillonnage	129
5.2.2.3 Conservation et transport	131
5.2.2.4 Analyses au laboratoire	131
5.3 Résultats et discussion	133
5.3.1 Résultats de la caractérisation des eaux de rivières	133
5.3.1.1 Volet physicochimique	133
5.3.1.1.1 Mesure de débits et essai de tarage des rivières de Bukavu	133
5.3.1.1.2 Le pH, la température et la conductivité.....	137
5.3.1.1.3 Des pollutions majeures dans les rivières de Bukavu	140
5.3.1.1.4 Des sels nutritifs dans les rivières de Bukavu.....	144
5.3.1.1.5 Les flux de pollutions affluentes au lac Kivu.....	146
5.3.1.2 Volet bactériologique	148
5.3.1.2.1 Résultats des analyses bactériologiques des eaux de rivières suivant les saisons	148
5.3.1.2.2 Résultats des types de pollutions bactériologiques dans les rivières en fonction des classes des rapports CF/SF	150

5.3.1.3 Aspects parasitologiques des rivières	152
5.3.2 Résultats de la caractérisation des eaux des exutoires.....	159
5.3.2.1 Volet physicochimique	160
5.3.2.1.1 Le débit.....	160
5.3.2.1.2 Température - pH - Conductivité	161
5.3.2.1.3 Pollutions majeures et chimiques	162
5.3.2.1.4 Les flux de pollutions urbaines en équivalent-habitant suivant les saisons	163
5.3.2.2 Volet bactériologique dans les exutoires domestiques	166
5.3.2.3 Volet parasitologique dans les exutoires domestiques.....	169
Conclusion	171
Références bibliographiques.....	171
CHAPITRE VI. ETUDE DE LA PREVALENCE DES PARASITOSES INTESTINALES CHEZ LES ENFANTS EN ÂGE PRÉSCOLAIRE A NYAMUGO, RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO (RDC).....	176
Résumé	176
6.1 Introduction.....	176
6.2 Matériel et méthodes.....	178
6.2.1 Zone d'étude.....	178
6.2.2 Prélèvement des échantillons	179
6.2.3 Analyse de laboratoire	180
6.3 Résultats et discussion	180
6.4 Conclusion	183
Références bibliographiques.....	183
CHAPITRE VII. CARACTERISATION DES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELLES (ERI) DANS LA VILLE DE BUKAVU	186
7.1 Introduction.....	186
7.2 Effluents brassicoles	186
7.2.1 Production dans une industrie brassicole	186
7.2.2 Gestion des déchets dans une industrie brassicole	189
7.2.3 Démarche de faisabilité d'un programme de bilan d'eau	190
7.2.3.1 Mesures de débit.....	190
7.2.3.2 Mise en œuvre du bilan.....	191
7.2.4 Etablissement de flux de pollution brassicole	192
7.3 Effluents pharmaceutiques	194
7.4 Matériel et méthodes.....	194

7.4.1 Présentation de la Bralima/Bukavu et Pharmakina	194
7.4.1.1 Bralima/Bukavu	194
7.4.1.2 Pharmakina.....	195
7.4.2 Méthodologie	196
7.4.2.1 Mesures de débit et échantillonnage.....	196
7.4.2.1.1 Effluents brassicoles	196
7.4.2.1.2 Effluents pharmaceutiques	198
7.4.2.2 Paramètres d'études	200
7.5 Résultats et discussion	200
7.5.1 Caractérisation des eaux résiduaires brassicoles	200
7.5.1.1 Données-analyses.....	200
7.5.1.2 Débit	202
7.5.1.3 Caractéristiques des effluents bruts de la Bralima/Bukavu	203
7.5.1.3.1 pH et température	203
7.5.1.3.2 Concentrations en DCO, MES et azote total (NT) des effluents bruts brassicoles.....	204
7.5.1.3.3 Charges polluantes des effluents bruts.....	205
7.5.1.4 Rendements épuratoires de la STEP de la Bralima/Bukavu	207
7.5.1.4.1 Valeurs moyennes de pH et température dans les influents et effluents de la Step	207
7.5.1.4.2. Rendements sur la DCO.....	207
7.5.1.4.3. Rendements sur les matières en suspension (MES) et l'azote total (NT)	210
7.5.2 Caractérisation des effluents de la Pharmakina.....	212
7.6 Conclusion	215
Références bibliographiques.....	216
CHAPITRE VIII. VERS UN PROGRAMME DE PROMOTION DE L'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE BUKAVU	217
8.1 Présentation de systèmes d'assainissement à Bukavu	217
8.2 Evaluation de systèmes d'assainissement à Bukavu	219
8.2.1 Nature du sol et perméabilité de terrains face au choix de systèmes d'assainissement... ..	219
8.2.2 Niveau de la nappe face au choix de systèmes d'assainissement.....	221
8.2.3 Pentés de terrains face au choix de systèmes d'assainissement	223
8.2.4 Pluviométrie face au choix de systèmes d'assainissement	224
8.3 Egouttage comme perspective de promotion d'assainissement à Bukavu	226
8.4 Revalorisation des déchets comme perspective de promotion d'assainissement à Bukavu....	229

8.4.1 Digestion anaérobie	229
8.4.1.1 Notes générales.....	229
8.4.1.2 Etat de lieux à Bukavu/Sud-Kivu.....	230
8.4.1.3 Vers la mise en place d'une filière de digestion anaérobie à Bagira/Bukavu	230
8.4.2 Valorisation-matière : Emploi des drèches brassicoles pour la promotion de l'élevage des porcs dans la ville de Bukavu.....	232
8.4.2.1 Contexte	232
8.4.2.2 Composition et mode d'emploi	233
8.5 Conclusion	233
Références bibliographiques.....	234
CONCLUSION GENERALE	237
ANNEXES	242

Liste des figures

Figure 1. Similarité de quelques pays subsahariens suivant l'accès à l'eau et à l'assainissement en 2000 et 2011	25
Figure 2. Diagramme ombrothermique de Bukavu entre 1930 et 1980.....	35
Figure 3. Carte administrative de Bukavu	37
Figure 4. Délimitation des zones bâties de Bukavu.....	39
Figure 5. Bassins hydrographiques de 4 cours d'eau de Bukavu.....	40
Figure 6. Profil des débits horaires dans une agglomération.....	47
Figure 7. Courbes de la DBO	51
Figure 8. Schéma général d'assainissement et des critères pour le choix des technologies	63
Figure 9. Grille de sélection des technologies au maillon amont	64
Figure 10. Grille de sélection des technologies de vidange des boues	64
Figure 11. Evolution d'une population bactérienne en batch.....	68
Figure 12. Schéma global du métabolisme bactérien	69
Figure 13. Etapes d'élimination biologique de l'azote	71
Figure 14. Les phases d'un cycle de SBR	76
Figure 15. Vues aériennes des quartiers Nyalukemba et Nyamugo	83
Figure 16. Aspect général de la base des données	86
Figure 17. Proportions des niveaux d'instruction des chefs de ménages enquêtés	90
Figure 18. Confort de latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes.....	101
Figure 19. Hygiène de latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes.....	102
Figure 20. Accessibilité aux latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes	103
Figure 21. Alternatives en cas de remplissage des ouvrages d'assainissement à Bukavu	104
Figure 22. Mode de vidange en fonction des communes de Bukavu	106
Figure 23. Lieux de déversement des boues de vidange dans les communes de Bukavu	107
Figure 24. Regroupement des indicateurs par lot.....	114
Figure 25. Evacuation des déchets solide et liquide par la rivière Kahwa	122
Figure 26. Le réseau hydrographique des rivières étudiées et différentes stations d'étude	125
Figure 27. Ful à bulles et calcul de surface délimitée par les bulles d'air	128
Figure 28. Evolution de débits dans les rivières de Bukavu en saisons sèche (SS) et humide (SH)	134
Figure 29. Débits horaires de rivières étudiées en saisons sèche et humide.....	135
Figure 30. Courbes de tarage obtenues dans les rivières de Bukavu.....	136
Figure 31. Validation de courbes de tarage des rivières de Bukavu	137
Figure 32. Variation saisonnière du pH des eaux de rivières de Bukavu en saisons sèche et humide	138
Figure 33. Variation de la température des rivières en saisons sèche et humide	139
Figure 34. Variation de la conductivité des eaux de rivières en saisons et humide	139
Figure 35. Variation saisonnière de la DCO dans les rivières de Bukavu	141
Figure 36. Variation saisonnière de la DBO ₅ dans les rivières de Bukavu	142
Figure 37. Variation saisonnière des MES dans les rivières de Bukavu.....	143
Figure 38. Variation saisonnière de la teneur des sels nutritifs dans les rivières de Bukavu	145
Figure 39. Courbes d'évolution journalière de débits dans les exutoires de Bukavu	160
Figure 40. Localisation du quartier Nyamugo dans la ville de Bukavu.....	179

Figure 41. ACM portant sur la répartition des parasites en fonction des avenues.....	183
Figure 42. Profils de productions mensuelles de la Brasserie 1 de 2008 à 2010.	187
Figure 43. Relevés évolutifs de volumes de boissons vendus par la Bralima/Bukavu	195
Figure 44. Vues de quelques bâtiments de la Pharmakina (ST 6) et de la Bralima (ST 5)	197
Figure 45. Schéma de la Step de la Bralima/Bukavu	198
Figure 46. Rejets pleins d'écumes de la Pharmakina à 5m environ de leur déversement au lac	199
Figure 47. Production de boissons et consommation d'eau mensuelles à la Bralima/Bukavu.....	200
Figure 48. Corrélation entre la production mensuelle et la consommation spécifique à la BralimaBukavu.....	202
Figure 49. Evolution du débit des effluents brassicoles bruts de la Bralima/Bukavu	203
Figure 50. Evolution de pH et température des effluents brassicoles en période 1.....	204
Figure 51. Evolution de pH et température des effluents brassicoles en période 2.....	204
Figure 52. Evolutions de concentrations en DCO pendant le traitement en périodes 1 et 2	208
Figure 53. Influence de la charge volumique sur le rendement épuratoire en DCO	209
Figure 54. Influence de la charge volumique sur la DCO résiduelle.....	210
Figure 55. Corrélations entre la DCO et la DBO ₅	214
Figure 56. Egouts, routes et ruisseaux dans la ville de Bukavu	218
Figure 57. Vues de pratiques de rejet des eaux grises et noires dans les rigoles de la ville	219
Figure 58. Vues de proximité des habitations autour des sources de Bukavu	223
Figure 59. Maisons dans des quartiers à lotissement spontané	224

Liste des tableaux

Tableau 1. Synthèse évolutive d'accessibilité à l'eau et à l'assainissement en RDC et dans quelques pays subsahariens	23
Tableau 2. Evolution de la densité de Bukavu et de l'espace disponible de 1909 à 2009	38
Tableau 3. Evolution des surfaces bâties en fonction de l'inclinaison des pentes entre 1954 et 2001	39
Tableau 4. Mortalité et fréquences des maladies liées à l'eau à Bukavu en 2011	42
Tableau 5. Morbidité à HPGRB au cours de 2011 et 2012	43
Tableau 6. Critères des indicateurs de contamination fécale	54
Tableau 7. Protozoaires trouvés dans les eaux	56
Tableau 8. Caractéristiques des eaux usées domestiques	56
Tableau 9. Charges polluantes et concentrations relatives à l'équivalent-habitant appliquées en Belgique et au Burundi	57
Tableau 10. Avantages et désavantages des traitements aérobie et anaérobie	70
Tableau 11. Différences fondamentales entre les bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes	72
Tableau 12. Ouvrages d'assainissement, lieux de déversement des eaux résiduaires, approvisionnement en eau de boisson et catégorie sociale	89
Tableau 13. Relation entre mode assainissement et catégorie sociale	91
Tableau 14. Relation entre mode d'assainissement et source d'approvisionnement en eau	93
Tableau 15. Relation entre mode assainissement et accessibilité au ménage	95
Tableau 16. Relation entre mode assainissement et rejet des eaux usées ménagères.....	97
Tableau 17. Relation entre mode d'assainissement et maladies fréquentes	99
Tableau 18. Confort de latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes.....	101
Tableau 19. Hygiène de latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes	102
Tableau 20. Accessibilité aux latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes.....	103
Tableau 21. Choix d'actions liés au remplissage d'ouvrage d'assainissement par communes.....	103
Tableau 22. Mode de vidange en fonction des communes de Bukavu.....	105
Tableau 23. Lieux de déversement de vidange dans les communes de Bukavu.....	106
Tableau 24. Indicateurs et alternatives dégagés de différents maillons.....	107
Tableau 25. Poids des états pour l'indicateur I_2	108
Tableau 26. Performances des alternatives de l'indicateur I_1 et poids de critères.....	109
Tableau 27. Performances des alternatives de l'indicateur I_3 et poids de critères.....	110
Tableau 28. Performances des alternatives de l'indicateur I_4 et poids de critères.....	111
Tableau 29. Performances des alternatives de l'indicateur I_5 et poids de critères.....	111
Tableau 30. Classement des alternatives selon ELECTRE I	112
Tableau 31. Performances des systèmes d'ANC en ville de Bukavu	115
Tableau 32. Synthèse de travaux de caractérisation physicochimique des eaux résiduaires urbaines	123
Tableau 33. Synthèse de diagnostics des parasites dans les eaux usées.....	123
Tableau 34. Caractéristiques des bassins versants de 4 rivières de Bukavu	126
Tableau 35. Approcheméthodologique.....	132
Tableau 36. Flux de pollutions dans les rivières de Bukavu.	147
Tableau 37. Résultats des analyses bactériologiques des eaux de rivières de Bukavu.....	149

Tableau 38. Origines des pollutions des rivières de Bukavu suivant le ratio CF/SF	150
Tableau 39. Fréquences synthétiques des dénombrements parasitaires dans les rivières de Bukavu	152
Tableau 40. Concentrations pondérales (%) des eaux des rivières de Bukavu en groupes des parasites suivant les saisons.....	153
Tableau 41. Concentrations moyennes en parasites des rivières de Bukavu de juin 2013 à mars 2014.....	154
Tableau 42. La richesse spécifique des parasites dans les rivières de Bukavu.....	155
Tableau 43. Liste et pourcentage d'occurrence des parasites dans les rivières de Bukavu	156
Tableau 44. Similarité (Indice de Sorensen) entre les rivières sélectionnées.....	158
Tableau 45. Flux de pollutions microbiologiques par équivalent habitant en DBO ₅ en saisons sèche (SS) et de pluie (SH).....	159
Tableau 46. Résultats des paramètres lus in situ dans les exutoires de Bukavu.	161
Tableau 47. Teneurs des pollutions majeures et sels nutritifs dans les exutoires sélectionnés.....	163
Tableau 48. Charges des pollutions au niveau des exutoires domestiques.....	164
Tableau 49. Germes de contamination fécale dans les exutoires de Bukavu.....	166
Tableau 50. Types de pollutions bactériologiques des exutoires en fonction des classes de CF/SF ..	168
Tableau 51. Fréquences synthétiques des dénombrements parasitaires des eaux résiduaires urbaines en fonction des saisons.....	169
Tableau 52. Concentrations en parasites dans les exutoires de Bukavu suivant les taxons	169
Tableau 53. Concentrations pondérales (en %) des ERU dans les exutoires en fonction des groupes de parasites et des saisons	170
Tableau 54. Répartition des enfants dans les avenues selon le sexe.....	179
Tableau 55. Taux (en %) d'échantillons positifs et nombre d'espèces identifiées par avenues	180
Tableau 56. Fréquence des parasites identifiés et leur occurrence.....	182
Tableau 57. Illustration du bilan (consommations/rejets) dans une brasserie (Brasserie 1) en RDC au cours de l'année 2010.....	193
Tableau 58. Caractéristiques de la Step de la Bralima/Bukavu.....	197
Tableau 59. Production journalière et consommation spécifique d'eau à la Bralima/Bukavu.....	201
Tableau 60. Synthèses des pollutions majeures brassicoles.....	204
Tableau 61. Charges en DCO, MES et azote total des effluents bruts de la Bralima/Bukavu	205
Tableau 62. Charges (en kg/j et EH) des effluents bruts de la Bralima/Bukavu.....	206
Tableau 63. Pollutions spécifiques de la Bralima/Bukavu.....	206
Tableau 64. Températures moyennes des eaux usées à la Step/Bralima en périodes 1 et 2.....	207
Tableau 65. Rendements épuratoires en DCO pendant les 2 périodes d'étude.....	207
Tableau 66. Rendements de la Step sur MES et NT	211
Tableau 67. Caractéristiques physicochimiques des effluents de la Pharmakina.....	212
Tableau 68. Charges journalières des pollutions produites par la Pharmakina suivant les saisons ...	212
Tableau 69. Charges spécifiques des pollutions de produits fabriqués en janvier 2014	213
Tableau 70. Synthèse de corrélations entre la DCO et la DBO ₅	213
Tableau 71. Corrélations entre la DCO et l'azote total.....	214
Tableau 72. Vitesse d'infiltration (V) en fonction de types de sols.....	221
Tableau 73. Aptitude d'une filière d'ANC en fonction de la profondeur de la nappe	222
Tableau 74. Aptitude à l'assainissement en fonction de la topographie	224

Liste des annexes

ANNEXE 1 Degrés de similarité entre quelques pays subsahariens concernant l'accès à l'eau et à l'assainissement en 2000 et 2011	I
ANNEXE 2. Aspects statistiques globaux de diverses pratiques d'accès à l'eau et à l'assainissement pour les pays subsahariens retenus	II
ANNEXE 3 Synthèse en matière de gestion des eaux usées et excréta en Afrique subsaharienne	III
ANNEXE 4 Questionnaire d'enquête	IV
ANNEXE 5 Résultats des débits et paramètres physicochimiques et microbiologiques	XIV

Liste des abréviations

μ	: Taux de croissance
μ_{\max}	: Taux maximum de croissance
ACM	: Analyse en Composantes Multiples
ANC	: Assainissement Non Collectif
CEBEDEAU	: Centre belge d'étude et de documentation de l'eau
CF	: Coliformes fécaux
CO ₂	: Dioxyde de carbone
COT	: Carbone organique total
CV	: Charge volumique
DBO	: Demande biochimique en oxygène
DCO	: Demande chimique en oxygène
EC	: <i>Escherichia coli</i>
EcoSan	: Ecological Sanitation
ELECTRE	: Elimination Et Choix Traduisant la REalité
ERI	: eaux résiduaires industrielles
ERU	: eaux résiduaires urbaines
ESO	: eaux souterraines
ESU	: eaux superficielles
EU	: Eaux usées
FAO	: Food and Agriculture Organization
HPGRB	: Hôpital provincial général de Bukavu
INS	: Institut national des statistiques
IPS	: Inspection provinciale de la santé
ISO	: Organisation internationale de normalisation
ISP	: Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu

ISTM	: Institut Supérieur des Techniques Médicales
ITFM	: Institut Technique Fundi Maendeleo
Ks	: Constante de demi-saturation
MES	: Matières en suspension
NT	: Azote total
OMS	: Organisation mondiale de la santé
PED	: Pays en développement
PIR	: Police d'Intervention Rapide
PNUD	: Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
PT	: Phosphore total
RDC	: République Démocratique du Congo
S	: Substrat
SBR	: sludge batch reactor
SF	: Streptocoques fécaux
STEP	: Station d'épuration
UFC	: Unités formant colonies
UNICEF	: United Nations Children's Emergency Fund
X	: Biomasse

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte, problématique, objectifs du travail

A travers le monde, la gestion des déchets solides et liquides constitue un défi notable auquel il sied de répondre pour assurer un environnement adéquat à la vie des populations. Ce défi, quoique commun aux pays du nord et du sud, connaît une grande acuité dans les pays du sud pourtant, apparemment, moins pollueurs que ceux du nord au vu des infrastructures de production dont ils disposent. En effet, la production des déchets est corollaire au modernisme qui ne cesse de prendre de l'importance étant donné que la tendance humaine est de produire et de consommer davantage, notamment au niveau des villes.

Si les villes des pays du nord semblent être à même de résorber les pollutions produites, en bénéficiant de l'expertise d'un personnel compétent, d'un financement quasi permanent et d'une opinion publique très sensible aux questions environnementales, à l'opposé, les villes des PED en général et de la République Démocratique du Congo (RDC) en particulier, dont Bukavu, connaissent des situations dramatiques. En effet, Bukavu connaît un exode rural important, rendant difficile l'accès aux services de base (logement, eau, assainissement, transport, etc.). Cette tendance a pris un envol tout-à-fait particulier depuis le génocide du Rwanda (1994) qui a déversé en RDC des réfugiés, exclusivement de l'ethnie hutu, qui se sont disséminés principalement dans les forêts du Kivu pour échapper aux armées régulières des pays limitrophes de la RDC ayant envahi et occupé l'est congolais en 1996. Affaiblie et désorganisée, l'armée nationale congolaise n'a jamais réussi à venir à bout de ces éléments armés rwandais qui investissent les campagnes du Kivu et se livrent aux pratiques macabres comme l'exploitation illégale des ressources naturelles (minérales), les viols, les tueries. Ce contexte conduit à des guerres successives qui ont causé un exode rural de grande envergure vers la ville de Bukavu, notamment.

Un survol rapide sur les catastrophes à Bukavu, peut renseigner que les inondations et érosions sont des phénomènes auxquels les habitants de Bukavu font souvent face, vu la pluviométrie élevée et le caractère accidenté de la ville bâtie à 1600 m d'altitude. Sa position géographique confinée entre le lac Kivu et la dorsale montagneuse ne permet pas son élargissement, ce qui fait que l'aire acquise à la décolonisation (1960) constitue jusqu'à maintenant la même superficie de la ville; d'où la ruée sur tous les espaces verts, y compris ceux impropres à la construction.

En plus, l'accès à l'eau potable constitue l'un des sérieux problèmes que connaissent les populations de Bukavu au fil du temps, et en particulier en période sèche. En fait, en dépit des réserves importantes en eau douce que possèdent la RDC et Bukavu, le taux

d'accessibilité à l'eau et à l'assainissement, peu documenté d'ailleurs, affiche une symptomatologie alarmante. Plus de la moitié de la population (53,5%) n'a pas accès à l'eau potable; 22,7% des ménages utilisent des toilettes hygiéniques; 15% des ménages disposent d'un endroit pour le lavage des mains (PNHAB, 2013). Ainsi les habitants s'orientent-ils volontiers vers d'autres sources d'approvisionnement en eau non traitée comme l'eau de pluie, du lac, des sources et rivières pour pallier au déficit de la Régideso, la société leader de distribution et commercialisation de l'eau potable en RDC. 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 excréta.

Hormis les effluents brassicoles, tous les rejets domestiques et industriels sont déversés directement ou indirectement dans le lac, par le biais des rivières qui traversent la ville. Ce comportement altère davantage les ressources aquatiques et le cadre de vie des populations exposées à plusieurs risques dont des maladies liées à l'eau. L'Inspection Provinciale de la Santé/Bukavu (IPS/Bukavu) en 2011 a rapporté 6832 cas du choléra dont 36 décès; 38336 cas de schistosomiose dont 35 décès; 7927 cas de fièvre typhoïde dont 17 décès; 12273 cas de diarrhée sanglante dont 5 décès; 126962 de diarrhée simple dont 303 décès; et 38336 cas d'amibiase dont 35 décès. Encore que, faute de moyens financiers, une frange considérable de la population s'adonne volontiers à l'automédication, ce qui fait que beaucoup de cas de maladies ou morbidité ne sont pas déclarés et sont ainsi non répertoriés dans les statistiques de l'IPS.

En perspective de répondre aux objectifs du millénaire pour le développement, les efforts engagés par le gouvernement semblent être dubitatifs et laissent une part importante de responsabilité aux structures de coopération bilatérale ou multilatérale (Oxfam, UNICEF, PNUD, OMS, etc.). Du coup, la dichotomie quant à la priorisation des efforts apparaît et se penche principalement sur l'approvisionnement en eau voulue potable, ignorant qu'à l'opposé, le volume des eaux à évacuer et traiter augmente; ce qui accentue la dégradation du cadre de vie.

En dépit des risques réels sanitaires, la littérature sur la caractérisation de l'eau et des déchets à Bukavu est quasiment nulle. Cependant, on peut mentionner quelques travaux du domaine de l'écologie, réalisés sur le lac Kivu par l'équipe UERHA de l'Institut Supérieur Pédagogique (ISP) de Bukavu. Au stade actuel, la caractérisation de l'eau en amont du lac - sur les rivières - ainsi que l'évaluation des pollutions tant domestiques qu'industrielles n'ont pas été abordés par les chercheurs. Plusieurs raisons sous-tendent ce fait dont la pénurie du personnel compétent et des structures de recherche adéquates. Les eaux de ruissellement comprennent une panoplie des substances et eaux rejetées par les déversoirs d'orage et différents exutoires en temps de pluie, et à origine multiple notamment: lessivage des bassins versants, pollutions atmosphériques, érosion et mobilisation des polluants, etc.

Patrimoine commun aux deux pays (RDC et Rwanda) et dont les eaux alimentent le lac Tanganyika partagé par quatre pays (Burundi, RDC, Tanzanie et Zambie) par le biais de la rivière Ruzizi, le lac Kivu constitue le réceptacle de tous les déchets produits à Bukavu. Le lac encourt les risques d'eutrophisation par le manque d'une politique réelle de la RDC alors que le Rwanda fournit de gros effort pour éviter de surcharger le lac (réseau d'égouttage entretenu, interdiction de déboisement des rives du lac, gestion des déchets, etc.). Son exutoire, la Ruzizi, abrite 2 barrages hydroélectriques à vocation sous régionale (approvisionnement principal en électricité du Rwanda, du Burundi et de l'est congolais dont les villes de Bukavu et de Goma). Le fonctionnement de ces centrales hydroélectriques est souvent perturbé par l'afflux des déchets drainés, obligeant à procéder au décolmatage des grilles afin de maintenir l'alimentation en électricité.

En outre, dans les profondeurs dudit lac (485 m) dorment d'énormes quantités de gaz méthane (60 km^3) et qu'à l'éventualité de sa remontée à la surface via les cheminées volcaniques ou mouvements sismiques, il pourrait générer une explosion et une asphyxie d'environ 2 millions de personnes qui habitent ses rives, étant donné que le méthane est associé au dioxyde de carbone évalué à 250 km^3 (Schmid *et al.*, 2005). Ce type de danger peut être illustré par la mort de 1700 personnes au bord du lac Nyos au Cameroun en 1986 (Kling *et al.*, 1987), pourtant moins riche en gaz que le lac Kivu qui comprend 300 fois la quantité du lac Nyos (Schmid *et al.*, 2003; Schmid *et al.*, 2005).

L'objectif principal de ce travail consiste à caractériser par des méthodes simples et fiables, les eaux résiduaires urbaines et industrielles générées dans la ville de Bukavu en vue d'évaluer les flux des pollutions arrivant dans le lac Kivu, directement ou indirectement par le truchement des rivières qui la traversent ainsi que des émissaires industriels.

De manière spécifique, il s'agit de: déterminer l'accessibilité des populations de Bukavu à l'eau et à l'assainissement de base ainsi que les besoins réels en cette matière pour promouvoir la santé des habitants; quantifier et caractériser les flux polluants domestiques et industriels qui se déversent quotidiennement dans le lac Kivu; dénombrer et caractériser les taxons bactériens et parasitaires en circulation; évaluer le fonctionnement de la station d'épuration de la Bralima/Bukavu en vue de son optimisation; et, étant donné que les pays en développement (PED) connaissent un problème criant dans le domaine de l'assainissement, mettre sur pied un plan d'assainissement afin de susciter et booster les bonnes pratiques au sein des populations et des gouvernants dans le but de juguler les mauvaises pratiques.

Ainsi ce travail revêt-il un triple intérêt d'ordre : sanitaire par le contrôle de la conformité des usages et des risques encourus en contact avec les effluents, ainsi que par l'évaluation des pratiques d'assainissement non collectif dans la ville; environnemental par l'évaluation des rejets et respect de normes d'émission, le contrôle du fonctionnement de la station d'épuration, le suivi de la qualité des milieux récepteurs; et écologique par la mise en

évidence et les rapports des polluants microbiologiques, physiques et chimiques susceptibles d'atteindre le lac Kivu et d'en influencer l'équilibre.

2. Structure de la thèse

Cette dissertation est structurée de manière suivante:

- Après une partie introductive qui situe le contexte ainsi que les objectifs poursuivis dans cette thèse, le premier chapitre se consacre à une synthèse bibliographique dans laquelle un large tour d'horizon a été fait et axé sur le panorama des eaux résiduaires urbaines et industrielles à travers l'Afrique subsaharienne et la RDC. Les principaux thèmes abordés touchent aux aspects réglementaires et institutionnels, population et urbanisme, ressources en eau, accessibilité à l'eau potable et à l'assainissement.
- Le deuxième chapitre présente la ville de Bukavu selon les dimensions bio-géo-physiques, en mettant un accent sur la production des déchets domestiques et industriels, et les modes d'assainissements usuels à Bukavu, dont le portrait sanitaire caractéristique a été suffisamment développé. Un regard sur l'organisation administrative a été mis à profit pour appréhender les contraintes caractérisant le domaine sanitaire de cette ville.
- Le troisième chapitre présente les principales notions de la gestion et la caractérisation des pollutions domestiques et industrielles. En ce compris le développement et les pratiques de l'assainissement collectif, et de l'ANC.
- Le quatrième chapitre s'attèle au profil de l'assainissement non collectif dans la ville de Bukavu, tel que réalisé dans les quartiers à différents standings. L'importance de l'accès à l'eau potable, les modes de conservation de celle-ci, la gestion des eaux usées et des latrines, les critères présidant au choix d'eau et au type d'assainissement constituent une illustration représentative des points ayant fait l'objet de ce chapitre. Aussi, pour bien évaluer l'assainissement non collectif dans la ville, un recours a été fait sur l'indicateur global développé par Bigumandondera (2014) par une approche multicritères.
- Le cinquième chapitre se consacre à la caractérisation physicochimique et microbiologique des eaux des rivières et des exutoires urbains de Bukavu, afin d'évaluer les flux des pollutions. Ces charges ont été déterminées afin d'arriver à la compréhension des menaces sanitaires subies par les populations de la ville et à une bonne évaluation de rejets qui font pression sur le réceptacle lacustre.
- Le sixième chapitre reprend les résultats concernant une recherche systématique des parasites dans les échantillons de selles des enfants en âge préscolaire du quartier Nyamugo par lequel passent la plus grande des rivières de Bukavu (Kahwa) et trois des cinq collecteurs qui ont fait l'objet de nos recherches.

- La caractérisation des pollutions industrielles à Bukavu compose le septième chapitre de cette thèse. Elle est axée sur les flux de pollution produits par les deux plus grandes industries de Bukavu que sont la brasserie Bralima et l'industrie pharmaceutique Pharmakina. Le bilan et le suivi des processus d'abattement des pollutions brassicoles dans la station d'épuration de la Bralima ont été inscrits dans le domaine d'intervention de nos recherches en vue de porter des critiques sur le fonctionnement de ladite station d'épuration pour un rendement optimal.

- Le huitième chapitre se penchant sur une démarche critique menant vers la planification de l'assainissement de Bukavu, et précède la conclusion générale ainsi que quelques perspectives qui bouclent la présente dissertation.

Références bibliographiques

Bigumandondera P. (2014). Etude de l'assainissement non collectif en Afrique subsaharienne: Application à la ville de Bujumbura. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 276p.

Hôpital Général Provincial de Référence de Bukavu (2011). Rapport des activités annuelles. Inédit.

Inspection Provinciale de la Santé (2011). Rapport annuel des activités dans la ville de Bukavu. Inédit.

Kling G.W., Clark M.A., Compton H.R., Devine J.D., Evans W.C., Humphrey A.M., Koenigsberg E.J., Lockwood J.P., Tuttle M.L. and Wagner G.N. (1987). The 1986 Lake Nyos gas disaster in Cameroon, West-Africa, *Science*, 236 (4798), 169 - 175.

PNHAB (2013). Le projet de la mise en oeuvre de la politique nationale de l'assainissement en RD Congo.

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

Schmid M., Halbwachs M., Wehrli B. and Wüest A. (2005). Weak mixing in Lake Kivu: New insights indicate increasing risk of uncontrolled gas eruption. *G³*, Volume 6, Number 7, Q07009, doi:10.1029/2004GC000892, ISSN: 1525-2027.

Koné D., 2002. Épuration des eaux usées par lagunage à microphytes et macrophytes en Afrique de l'ouest et du centre : État des lieux, performances épuratoires et critères de dimensionnement. Thèse de Doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 170 p.

CHAPITRE I. ETAT DE L'ART DE L'ASSAINISSEMENT EN AFRIQUE SUBSAHARIENNE

1.1 Situation globale en Afrique subsaharienne

1.1.1 Aspects réglementaire et institutionnel

La lecture des travaux consultés montre la difficulté qu'éprouvent la plupart des Etats subsahariens en ce qui concerne le management de l'eau et de l'assainissement. En cela, la plupart d'entre ces pays ne sont pas dotés d'une politique réelle comprenant des programmes concrets et cohérents pour orienter les actions à mener dans cette thématique. Pour rejoindre Hassani et Mebrouk (1999), les écarts sont manifestes entre les dispositions légales nationales et les pratiques quotidiennes observées.

Selon Bied-Charreton *et al.* (2004), la gouvernance en matière d'eau est un enjeu tant politique, économique que social et que les institutions doivent considérer comme prioritaire sur l'agenda politique de ce siècle. D'après les travaux d'Aouij (2000), 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 de l'eau. Aujourd'hui, il est admis que la crise de l'eau n'est pas liée à l'insuffisance des ressources mais à une mauvaise gestion (Cosgrove et Rijsberman, 2000). Et PNUD (2006) appuie cette affirmation en précisant que la crise de l'eau est liée à la pauvreté, aux disparités des régions et à l'inadaptation des politiques de gestion. Fort de ces motivations, de manière timide et dans l'optique d'asseoir une politique en la matière, il se réalise pour quelques villes en Afrique sub-saharienne, la mise en place du schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme (Allogho-Nkoghe, 2006 et OMS/UNICEF, 2007), qui est un outil permettant de fixer la destination des sols, le tracé des grands équipements comme le drainage des eaux usées, l'alimentation en eau, etc. Cette dynamique prend de plus en plus de l'envol dans beaucoup de pays à travers le continent. En effet, suivant cette dynamique, le rapport du Centre Mauritanien d'Etudes Politiques (2004) souligne que la politique mauritanienne en cette matière, porte beaucoup plus sur l'approvisionnement en eau à cause des conditions désertiques qui y prévalent. Il révèle de sérieux problèmes qui entachent l'assainissement à l'instar du taux de desserte en eau potable, dont le manque de financement et le déficit en ressources humaines compétentes en la matière.

Au Sénégal, OMS/UNICEF (2007) signale que le pays est doté, depuis la dernière décennie du millénaire passé, d'une politique de résorption des quartiers urbains irréguliers et insalubres avec, d'une part, la restructuration des quartiers ciblés et d'autre part, leur régularisation foncière. D'après le ministère de l'environnement et de l'assainissement (2003), la politique menée a permis d'aboutir à la création de l'ONAS, structure chargée de la maîtrise d'ouvrage des travaux d'assainissement, l'exploitation et la maintenance des ouvrages d'assainissement. Cependant, en dépit de cette dynamique, on remarque tout de même que le secteur de l'assainissement continue d'être confronté à des contraintes dont l'insuffisance des niveaux de services d'assainissement surtout dans les zones périurbaines, et la viabilité

financière de l'ONAS. D'où, l'adoption d'un programme de promotion des services dans les zones dotées de réseaux collectifs d'assainissement et d'assainissement autonome et semi-collectif dans les quartiers périurbains, la mise en place d'une stratégie spécifique pour la gestion des eaux de drainage et d'un cadre institutionnel approprié garantissant la viabilité financière du sous-secteur de l'assainissement urbain.

Au Tchad, il a été mis en place le Schéma Directeur de l'Eau et de l'Assainissement pour permettre au pays d'atteindre les objectifs du millénaire pour le développement, avec une visée de porter le taux d'accès à l'eau potable de 51 % à 60 % en 2015 et celui d'accès à l'assainissement de 11 à 15 %, tout en améliorant le cadre institutionnel et organisationnel (Banque africaine de développement, 2012).

Au Gabon, d'après Allogho-Nkoghe (2006), le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de Libreville, élaboré depuis 1994, avait identifié des principes prioritaires pour améliorer le management foncier, et défini les orientations de l'Etat en rapport avec les domaines de sa compétence ainsi que les outils juridiques d'encadrement de la politique susmentionnée. Cependant, comme dans la plupart des pays en Afrique sub-saharienne, ce schéma souvent élaboré par des experts étrangers, a difficile à atteindre les résultats escomptés du fait que ces experts prennent un temps relativement long pour collecter les données. En plus, une fois le schéma élaboré, on s'aperçoit que les données ayant servi à son élaboration, se trouvent être dépassées complètement par la dynamique interne urbaine, ce qui pose le problème de leur mise en œuvre ou de leur applicabilité.

En Tanzanie, Chaggu (2003) affirme que le pays ne disposait pas d'outil politique consacré à l'assainissement jusqu'en 2003; le volet d'assainissement était inclus dans la politique de la santé et consistait à prôner la promotion des ouvrages d'assainissement ainsi que leur emploi par les ménages mais sans un schéma clair de planification; ce qui a amené par la suite, les chercheurs à conduire des travaux visant à mettre sur pied des mesures qui puissent accompagner les décisions politiques.

Au Cameroun, MINEE-GWP (2009), Djeuda Tchapnga *et al.* (1998) et Kouam Kemnogne *et al.* (2006) font remarquer l'incohérence, l'inefficacité et les lacunes qui entachent les textes juridiques en vigueur et qui reposent sur la loi N° 98/005 du 14 avril 1998. Les auteurs font remarquer l'absence des documents de référence qui tiennent lieu de politique nationale sur lequel s'appuie la réglementation.

A l'issue de la lecture de différentes publications, il n'existe quasiment pas de travaux portant sur les aspects tant institutionnel, législatif que réglementaire, qui soient transposés à l'échelle d'un (ou des) bassin(s) versant(s) dans une ville de pays en développement.

1.1.2 Population et urbanisme

Depuis la révolution industrielle, la part de l'humanité concentrée dans les villes ne cesse de croître. L'essentiel de la croissance dans les pays en développement, se traduit par l'essor d'espaces périphériques qui s'étendent autour de noyaux urbains (Allogho-Nkoghe, 2006). Il en découle l'émergence d'une nouvelle réalité territoriale et sociale où villes et campagnes se mêlent, avec tous les défis y afférents en lien avec l'accès à l'eau et à l'assainissement améliorés. Ainsi, en Afrique en général, les villes sont quasiment toutes non industrielles et constituent les poumons tant politiques qu'économiques, et incarnent la modernité.

Globalement, l'origine des villes africaines remonte à la période coloniale. Leur structure, telle que décrite par Lasserre (1958), présente deux paysages opposés: le quartier européen et les faubourgs africains. Les quartiers des blancs concernent les véritables villes et présentent les caractères urbains, tandis que les faubourgs africains ressemblent plus aux villages et peuvent être considérés comme des protubérances ou excroissances de véritables villes que sont les quartiers jadis dits européens. En accord avec Allogho-Nkoghe (2006), cette organisation duale des villes a connu une certaine évolution au fil des années et a conduit à une nouvelle idéologie qui oppose maintenant les riches aux pauvres. La ville des pauvres est la continuité des faubourgs africains, dits aussi les quartiers périphériques ou marginaux, pour lesquels les pouvoirs publics sont faiblement intervenus dans la mise en place.

Dans ce contexte, Assongmo (2003) souligne que le concept de quartier marginal tient à plusieurs critères: cadre juridique d'occupation des sols, faiblesse d'encadrement social, équipements collectifs absents ou déficitaires, fragilité des habitations qui sont d'ailleurs tributaires d'une réalité foncière confuse, et densités humaines extrêmement élevées. Un développement urbain tel que celui-ci, génère des problèmes réels relevant de la gestion quotidienne des populations et présentent un impact sur l'environnement, dont les écosystèmes aquatiques et le patrimoine forestier en particulier.

Bien que le continent reste le plus rural, l'urbanisation dans la partie sub-saharienne concerne entre 35 et 50 % de la population, et 60 à 80 % des habitants vivent dans des conditions précaires en zones non loties (OMS/UNICEF, 2010). L'accès aux services de base (santé, éducation) est en général plus acceptable dans ces villes malgré la pauvreté et cela grâce au développement de l'offre privée et à de bonnes institutions publiques (écoles notamment) que dans les campagnes. En Afrique sub-saharienne, les zones, constituant des espaces hybrides entre villes et campagnes, posent des problèmes spécifiques quant aux modalités d'organisation des programmes de développement et de coopération. En guise d'exemple, on peut remarquer la coexistence de différentes formes de régulation relevant des coutumes ou du droit écrit ou importé des pays colonisateurs en matière de justice ou d'appropriation foncière.

Dans ce contexte, les travaux de l'OMS/UNICEF (2000) font observer en Afrique un taux de croissance démographique (4,02 % par an) qui est environ deux fois plus élevé que celui de l'Asie (2,05 %), et de l'Amérique latine et des Caraïbes (2,10 %). La croissance démographique de la plupart de ces villes affiche une tendance à la hausse, et le taux de croissance élevé de la population urbaine est à la base des vagues d'urbanisation qui caractérisent les villes africaines, lesquelles font l'objet de l'asphyxie et de la paralysie, exposant une fraction relativement importante de cette population à vivre dans l'illégalité au grand dam de toute réglementation en matière de foncier ou de management urbain. En fait, l'inapplication des textes, vieux et obsolètes, et le déficit du management urbain amènent à la prolifération des quartiers non structurés et informels et où les conditions s'empirent à cause de la densification.

Les travaux menés par OMS/UNICEF (2013) donnent les statistiques sur la dynamique démographique urbaine qui caractérise différents pays où l'on remarque une évolution positive du taux démographique urbain. Cette source précise que pour toute l'Afrique subsaharienne, le taux de la population démographique urbaine est passé de 28 % en 1990 à 32 % (2000) et à 37 % en 2011.

1.1.3 Accès à l'eau potable et à l'assainissement

De l'évolution du taux démographique des villes africaines, transparaît le caractère impérieux d'amélioration des services d'approvisionnement en eau et d'assainissement pour atteindre les objectifs du millénaire en la matière. Les régions ayant le plus fort taux de croissance démographique dans les grandes villes sont aussi celles qui comptent le pourcentage le plus élevé de citoyens n'ayant pas accès aux services susmentionnés (Bakari, 2006). Dans près de la moitié des pays africains, la couverture de l'assainissement n'atteint pas les 50 %, et même celle de l'approvisionnement en eau ne dépasse les 75 % que dans un petit nombre de pays, entre autres: Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Congo, Gabon, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée Bissau, Lesotho, ... (OMS et UNICEF, 2015). Pourtant, peu avant, OMS et UNICEF (2007) avaient stipulé que la couverture tant de l'approvisionnement en eau que de l'assainissement était inférieure à 50 % dans dix pays d'Afrique, en l'occurrence l'Angola, le Burkina Faso, l'Erythrée, l'Éthiopie, Madagascar, la Mauritanie, la République Démocratique du Congo (RDC), le Rwanda, la Sierra Leone et le Tchad (OMS et UNICEF, 2007).

Avec 62 % seulement de la population ayant accès à un approvisionnement amélioré d'eau, l'Afrique paraît la région du monde présentant la couverture totale la plus faible d'approvisionnement en eau. En zones rurales, l'accès à cette denrée devient encore beaucoup plus préoccupant étant donné que la couverture atteint seulement 47 % de la population contre 85 % en zone urbaine (OMS et UNICEF, 2000). Selon l'OMS et UNICEF (2013), les taux des populations urbaines ayant accès à l'eau connaissent des avancées

appréciables mais sont encore en général loin de permettre à ces pays d'atteindre les objectifs du millénaire pour le développement. Pour les années 1990, 2000 et 2011, l'évolution est positive et quasiment bonne pour la plupart des pays de l'Afrique subsaharienne à part quelques-uns, dont le Burundi, où l'on constate un recul.

Par ailleurs, on estime que plus d'un tiers de l'approvisionnement en eau en Afrique est intermittent (pratique communément appelé délestage). Pour pallier à ce mode de fourniture, les consommateurs choisissent de s'équiper de réservoirs domestiques. Bien que ces dispositifs aident à atténuer les pointes de consommation à certaines heures, ils ne sont souvent ni correctement protégés ni régulièrement nettoyés et désinfectés, ce qui entraîne un risque considérable de contamination.

En ce qui concerne la couverture en assainissement, l'Afrique présente un des taux les plus faibles et comprend 13 % de la population mondiale qui n'a pas accès à un assainissement amélioré. Dans cette optique, Morella *et al.* (2008) ont travaillé sur les diagnostics des infrastructures d'assainissement en Afrique subsaharienne, au terme desquels ils affirment que la moitié de la population urbaine a recours aux latrines traditionnelles, 30 % de la population à la défécation à ciel ouvert, tandis que pas plus de 20 % recourent aux systèmes améliorés. Aussi, ces auteurs soulignent que les types d'accès à l'assainissement varient considérablement selon le niveau socioéconomique et concluent que les latrines traditionnelles constituent le mode d'assainissement le plus courant. Concernant le type des installations, Montangero *et al.* (2000) mentionnent que plus de la moitié de la population urbaine d'Afrique utilise les latrines simples à fond perdu. En dépit de certains programmes d'installation de latrines individuelles, le constat est généralement clair et consiste en une mauvaise qualité du service d'assainissement ou en l'absence totale de programme d'épuration.

Selon Eau vive (2010), on peut citer 3 catégories de pratiques dans les systèmes non-améliorés au sud du Sahara: la défécation en plein air (28 %), les installations dites non améliorées (23 %), les installations sanitaires communes (18 %). Quant aux systèmes améliorés (31 % des pratiques en Afrique subsaharienne), il s'agit des installations sanitaires qui permettent l'évacuation hygiénique des excréta humains. Dans ce lot, on rencontre les toilettes à chasse d'eau connectées sur un réseau d'égout ou reliées à une fosse septique, les latrines à fosse ventilée (VIP), les latrines à fosse avec dalle ou les toilettes à compostage.

1.1.4 Aspects socio-économiques

Les aspects socio-économiques jouent un rôle important dans le secteur de l'approvisionnement en eau potable et de l'assainissement. Il est crucial de comprendre les raisons qui déterminent la faiblesse de la demande et de l'offre dans ce secteur en vue de redynamiser les bonnes pratiques par des moyens politiques, financiers ou techniques, ou simplement en améliorant l'information. A ce sujet, Morella *et al.* (2008) ont fait mention du

profil de la hausse en pourcentage annuel de l'accès de l'assainissement et les dépenses par personne en faveur de l'assainissement suivant quelques pays.

L'OMS et l'UNICEF (2000) mentionnent l'aspect relatif à la limitation en termes financiers ou politiques, qui empêche l'amélioration du secteur. Aussi, les croyances culturelles peuvent avoir une forte incidence sur la situation de l'assainissement, même sur la possibilité d'aborder le sujet. En effet, la manipulation des excréta dans de nombreuses cultures, est perçue comme un tabou et comme une activité répugnante ou dangereuse et inabordable. Face à ce genre de croyances, les gens impliqués dans la gestion, font souvent l'objet de stigmatisation dans la société. En plus, les tabous peuvent empêcher de récupérer de manière hygiénique les déchets humains qui constitueraient des ressources importantes à revaloriser. C'est le principe de base d'ECOSAN (ecological sanitation ou assainissement écologique).

Nsavyimana (2014) a inventorié divers travaux consacrés à la caractérisation des urines et excréments humains et qui montrent leur richesse en éléments nutritifs. Les travaux d'Almeida *et al.* (1999) soulignent le lien et l'importance des éléments nutritifs pour l'agriculture. Plusieurs travaux, quoique sectoriels, ont été menés par le CREPA principalement en Afrique de l'ouest, pour la promotion de l'agriculture par la valorisation des excréta (Cissé, 2002). Au Niger, on peut citer les travaux réalisés dans le cadre de l'assainissement productif par Djariri (2009) sur la réduction des coûts des ouvrages, par Laminou (2006) sur les risques sanitaires et les opportunités de production de fertilisants dans le système de collecte d'urine.

Par ailleurs, la faiblesse en matière d'accès à l'eau potable et à l'assainissement de base est liée en partie, à celle des moyens financiers mis en jeu par les budgets nationaux et des moyens techniques appropriés et adaptés aux réalités locales et nationales. C'est ainsi que Dillinger (1996) souligne que les carences des services urbains dans les pays du sud ne résultent pas seulement de la limitation de leurs ressources mais aussi des modalités institutionnelles de la prestation des services.

Cette faiblesse est responsable de la multiplication en Afrique sub-saharienne, des bidonvilles et de la pénurie des infrastructures et des services de base, alors que les pouvoirs publics ne disposent pas suffisamment de moyens pour faire face à cette situation (Salem, 1998; Wyss *et al.*, 2001; Sy *et al.*, 2011). Par contre, de plus en plus, on assiste à une augmentation de campagnes et études épidémiologiques, ce qui laisse transparaître l'importance de changements de comportement relativement mineurs dans la protection des familles contre les maladies à transmission féco-orale.

L'accès à un réseau d'approvisionnement en eau ou au tout-à-l'égout, ou le fait de disposer de pompes à main ou de latrines, n'est pas le fruit du hasard. On peut admettre que les personnes qui ne disposent pas actuellement d'un approvisionnement en eau ou d'un

assainissement améliorés dans leur grande majorité, sont les plus pauvres et les plus démunies, ce qui conduit à la triste conclusion de Hardoy *et al.* (1990) selon laquelle les pauvres meurent jeunes.

Pour améliorer la gestion des déchets dans quelques villes du Kenya, Rotich *et al.* (2006) préconisent des campagnes de sensibilisation auprès des populations, l'intervention des partenaires de la société civile, la responsabilisation des entités territoriales décentralisées.

Du fait de leur impact sur la santé et le développement, les interventions relatives à l'accès à l'eau et à l'assainissement améliorés constituent de puissants moteurs pour aider les pauvres à échapper à la pauvreté, notamment les plus démunis que sont les femmes et les enfants qui sont les plus concernés et les plus affectés par les carences de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement (OMS, 2010). Dans cet ordre d'idées, les enfants de moins de cinq ans paient le plus lourd tribut en termes de mortalité et de morbidité (Briscoe *et al.*, 1987) et la charge des soins incombe essentiellement aux mères qui n'ont pas forcément reçu d'éducation explicite sur la nécessité d'éliminer de manière hygiénique les selles des enfants.

De même, il y a actuellement en Afrique sub-saharienne 11,4 millions de déplacés dans 22 pays: en terme de millions de déplacés, le Soudan trône (3,1) et est suivi par la RDC (2,8), le Soudan du Sud (1,5), la Somalie (1,1) et le Nigeria (1). Cela résulte des catastrophes, guerres civiles ou conflits qui écument ces régions. Cette catégorie des populations se trouve affectée par de graves problèmes d'approvisionnement en eau et d'assainissement qu'elle n'avait peut-être pas initialement.

Bien que des ressources considérables soient fournies au secteur d'approvisionnement en eau et d'assainissement par des organismes extérieurs, celles-ci sont encore très insuffisantes (Eau vive, 2010). Bakari (2006) a analysé les maux qui rongent le secteur de l'assainissement à Nouakchott et a formulé la mise en place des mesures urgentes pour évacuer et traiter les eaux. Ces interpellations ont conduit Sy *et al.* (2011) à proposer une approche qui intègre dans les politiques de développement des villes, des aspects de santé, d'environnement et socio-économiques des populations.

1.1.5 Pratiques usuelles de la gestion urbaine des ressources en eau

A l'instar de la situation prévalant dans plusieurs zones de notre planète, les ressources en eau, souterraines ou de surface, font l'objet de plusieurs perturbations relevant des activités anthropiques. C'est ainsi que Niemczynowicz (1999) signale que les cours d'eau urbains subissent une forte influence liée à la croissance rapide qui caractérise les villes. Priso *et al.* (2012) abondent dans le même sens et affirment que dans la plupart des villes industrielles, les rivières sont soumises à des perturbations physiques et chimiques qui sont à l'origine d'une dégradation croissante de la qualité de l'eau. Plusieurs travaux effectués dans ce

domaine à travers la zone sub-saharienne en font mention et ont eu à mettre en exergue les différentes menaces que subissent ces écosystèmes.

Au Burundi, Gishinge Kasavubu (2006) affirme que le problème de la gestion des ressources souffre de la non applicabilité des mesures de protection par l'ensemble de la population, et que cette vulnérabilité est liée à la forte pression démographique qui produit des pollutions tant domestiques que bactériologiques.

Au Burkina Faso, les travaux de Rosillon *et al.* (2012) attestent que les activités anthropiques sont à la base des pollutions constatées dans la vallée de Sourou, sources de diffusion de nitrates dans l'eau. En guise de solution, il est proposé la mise en place des périmètres de protection, l'éducation sanitaire et la restriction de l'usage des dynamites utilisés dans les nouveaux forages.

Au Niger, dans la ville de Niamey, il a été mis en évidence par Chippaux *et al.* (2002), la pollution des eaux dont l'origine est attribuée au défaut d'assainissement et de collecte des ordures ménagères, et au transfert de polluants.

En Côte d'Ivoire, Kone Brama *et al.* (2006) ont signalé les atteintes sanitaires qui pèsent sur les populations urbaines, en citant les mauvaises odeurs, les diarrhées etc. Ahoussi *et al.* (2013), en évaluant la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de source du village de Mangouin-Yrongouin dans la localité de Biankouman (Côte d'Ivoire), ont mis en exergue la vulnérabilité des ressources en eau de cette contrée, liée à la forte pression anthropique. Dans la même optique, les études réalisées sur les ressources en eau de la Côte d'Ivoire par Ahoussi *et al.* (2013), Coulibaly *et al.* (2008), Soro *et al.* (2010), et Eblin *et al.* (2014) ont mis en évidence de nombreux foyers de pollution des eaux de surface (ESU) et eaux souterraines (ESO), dans les localités d'Abidjan, de Kossihouen et de N'zianouan. En outre, il a été révélé d'importantes réserves pour l'approvisionnement en eau potable de la région, nonobstant le degré élevé de la contamination bactérienne.

Au Cameroun, plusieurs études ont montré l'état de la dégradation des ressources en eau, de surface ou souterraines, et les risques qui pèsent sur la santé des populations et la protection de l'environnement. Les travaux de Priso *et al.* (2012) signalent la prédisposition de la ville de Douala à une pollution organique et chimique du fait de l'accroissement démographique, l'industrialisation anarchique et le manque d'un système approprié d'évacuation et de traitement des eaux. Dans leur étude sur les enjeux sanitaires, socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans le maraîchage urbain à Yaoundé au Cameroun, Kouam Kenmogne *et al.* (2010) signalent que l'eau d'Abiergué utilisée pour l'arrosage des plantes est polluée par des eaux usées et des déchets solides domestiques et non domestiques, et présentent des teneurs non négligeables en coliformes fécaux, streptocoques fécaux et *Escherichia coli*, en kystes de protozoaires (*Entamoeba histolytica* et *Giardia sp.*) et œufs. Wethe *et al.* (2003) s'intéresse à la réalité des

systèmes d'assainissement et de traitement des eaux usées de la ville de Yaoundé au regard des prescrits du schéma directeur d'assainissement de 1993 et conclut que les pratiques en vogue sont responsables des maladies hydriques observées dans le pays.

Au Tchad, il est indiqué dans le rapport établi en 2012 par le Programme de gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain, que la plus grande partie des eaux usées produites à N'djamena est évacuée sans traitement au préalable vers le fleuve Chari. Aussi, une très faible minorité de ménages seulement bénéficie des services de vidange hygiénique des latrines et de quelques unités de fosses septiques existantes, étant donné que la plupart des ménages s'adonnent plutôt à la vidange manuelle avec tous les risques sanitaires et les désagréments que cette pratique engendre, sachant que l'unique exutoire est le fleuve Chari.

Par ailleurs, ajoutons que le domaine de la recherche et les données épidémiologiques contribuent à l'établissement des directives dans certains pays dans le but d'incorporer dans les politiques d'aménagement, les aspects relatifs à la protection de la santé publique et de la préservation de l'environnement. Et ceci rejoint Hespanhol et Prost (1994) qui soulignent que certains pays essaient d'adapter les recommandations sur la qualité de l'eau potable et les eaux usées destinées à l'irrigation à leurs priorités nationales en tenant compte des caractéristiques économiques, sociales, culturelles et politiques ainsi que les contraintes. C'est en fonction de ces recommandations que les eaux des rivières de quelques villes en Afrique sub-saharienne ont commencé à faire l'objet de caractérisation. Parmi ces travaux, on peut citer les travaux réalisés dans les rivières de Yaoundé (Djuikom, 1997; Leseau, 2002; Lami, 2002, Kouam Kemnogne, 2013).

1.2 Etat de l'assainissement en République Démocratique du Congo

1.2.1 Aspects réglementaire et institutionnel

La RDC s'est engagée à atteindre les Objectifs du Millénaire pour le Développement, dont celui de réduire de moitié le nombre de personnes sans accès à un assainissement adéquat. C'est ainsi qu'elle est signataire de la Déclaration de Thekwini qui prévoit que 0,5 % du PIB soit consacré à l'assainissement (UNEP, 2011).

En parallèle, conscient de ses ressources naturelles et soucieux de la promotion de l'assainissement, le pays a ratifié les conventions internationales et autres protocoles, notamment la Convention de Bâle sur le contrôle transfrontalier des déchets dangereux et leur élimination, la Convention de Vienne et Protocole de Montréal sur la protection de la couche d'ozone, la Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause applicable à certains produits chimiques et pesticides dangereux qui font l'objet de commerce international, la Déclaration de Libreville sur l'alliance santé-environnement en 2008, la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, la Convention relative aux zones humides d'importance internationale, la

Convention des Nations Unies sur les droits de la mer, la Convention sur la prévention de la pollution de la mer résultant de l'immersion des déchets, et la Convention sur l'interdiction de la mise au point de la fabrication et du stockage des armes bactériologiques/biologiques et à toxines et sur leur destruction.

Cependant, en portant un regard sur la gestion nationale du secteur de l'eau, on peut mettre en exergue la faiblesse structurelle de sa gouvernance de l'eau, caractérisée par une multiplicité des lois et des structures souvent à caractère redondant et conflictuel. La lecture du Journal officiel (2012) fait remarquer des réalisations notables dans le cadre juridique et institutionnel, basées sur la décentralisation et la réforme de l'administration instituées par: la constitution de 2006 qui reconnaît la décentralisation comme un facteur de bonne gouvernance; la loi organique n°08/016 du 7 octobre 2008 portant composition, organisation et fonctionnement des Entités Territoriales Décentralisées (ETD) et leurs rapports avec l'Etat et les provinces, ainsi que la loi n°08/012 portant les principes fondamentaux relatifs à la libre administration des provinces; et la réforme de l'administration de 2012.

Concrètement, les avancées du pays relatives à l'accès à l'eau et à l'assainissement de base consistent 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 (UNEP, 2013).

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

1° 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 (les ministères de la santé publique et de l'environnement, conservation de la nature et tourisme). De ce fait, les responsabilités de l'Etat se déclinent en l'élaboration des lois, règlements, normes et standards, la mobilisation du financement et la collecte des données.

2° La province 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.

3° Les entités territoriales décentralisées (ETD) qui comprennent la ville (agglomération de plus de 100 000 habitants), la commune (agglomération d'au moins 20 000 habitants), le secteur ou la chefferie en milieu rural. A côté de cette composante, on trouve les communautés, le secteur privé, les organisations non gouvernementales (ONG), les partenaires extérieurs, ainsi que les établissements de recherche et d'enseignement supérieur jouant divers rôles dans la mobilisation du financement, la sensibilisation, la surveillance, etc.

Concernant le cadre normatif, contrairement à bien des pays, dont ceux de l'espace européen où on trouve des dispositions juridiques instituant des obligations de moyens ou de résultats, respectivement la Directive 91/271/CE ou la Directive 2000/60/CE (ou Directive-cadre sur l'eau), ou aussi quelques pays africains qui s'affranchissent de ce retard en se dotant des normes nationales ou en utilisant des normes usuelles en Occident, les textes normatifs et standards appliqués sont anciens, obsolètes et non adaptés au nouveau contexte de la RDC. Aussi, la mise en œuvre de la plupart des recommandations, reste trop timide; et l'accessibilité aux normes et standards appliqués connaît beaucoup de pesanteur; ce qui rend difficiles la recherche ainsi que le suivi et le contrôle des projets réalisés dans ce domaine.

En somme, les domaines de responsabilités ne sont pas clairement définis, débouchant sur un chevauchement de compétences, une conflictualité de mandats et une compétition institutionnelle. Ainsi, Useni (2007) fustige la mauvaise gouvernance considérée comme la principale cause de la dégradation rapide de l'environnement de Kinshasa, et traduite par la corruption, le laxisme des pouvoirs publics et l'absence d'un cadre juridique qui régit les interventions d'acteurs traditionnels.

En cette année d'appréciation des Objectifs du Millénaire pour le Développement (ODM), la RDC est pratiquement loin d'atteindre l'objectif relatif à la réduction de moitié du nombre des individus n'ayant pas accès à un assainissement de base, adopté lors du sommet mondial sur le développement durable de Johannesburg et associé traditionnellement aux ODM (Tearfund, 2007; Lelo, 2008).

1.2.2 Population et urbanisme

Dans le domaine démographique, les sources de données classiques consistent en recensements de la population, aux enquêtes sociodémographiques et aux consultations des services de l'état civil. Le recensement général de la population est une opération qui permet de produire des indicateurs sociodémographiques et économiques. Alors que bien des pays africains y recourent pour mettre à jour leurs statistiques, la RDC n'en a réalisé

qu'un seul qui date de 1984 (Lelo, 2008). Les résultats de projections utilisés dans la planification des besoins sociaux (Nations Unies-UN et Institut National de la Statistique-INS) se basent sur des données du recensement de 1984. En parallèle, de nos jours, l'état civil n'a plus la réputation d'antan; celle de mettre à la disposition des communautés, une base de données fiables étant donné qu'il reste peu développé et sa couverture se limite aux aires urbaines alors qu'à l'époque coloniale, l'état civil et le registre de population fonctionnaient efficacement (Ngondo, 2001; Metela, 2010).

Ainsi, les enquêtes auprès des ménages constituent les seules sources qui fournissent régulièrement des données sur la population. Cependant, ces sources d'informations sont généralement très localisées et leur portée reste souvent limitée. En vue de présenter l'état démographique en RDC, nous allons nous fier aux quelques publications, récentes, des systèmes onusiens.

D'après UNEP (2011), en RDC, la population est en grande partie rurale. Cependant, le pays a affiché une croissance démographique urbaine de 4,6 % par an (de 2005 à 2015), nettement supérieure à celle des zones rurales et à la moyenne nationale, respectivement de 1,8 % et de 2,8 %. Cette source stigmatise des effets défavorables liés à la croissance de la population et à la dynamique de l'étalement urbain dans le pays, sur les perspectives d'installation des infrastructures adéquates pour l'eau. En plus, le phénomène d'urbanisation est principalement induit par l'exode rural, causé principalement par le cycle des conflits que connaît le pays. En guise d'illustration, les statistiques de l'hôtel de ville de Kinshasa (2007) estiment que le nombre des habitants de la ville évalué à 8,2 millions, dépassera le seuil de 20 millions en 2037. La ville présente un taux de croissance annuelle démographique de 5% dont 4,5% (accroissement naturel) et 0,5% (solde migratoire). Selon OMS/UNICEF (2015), la population actuelle de la RDC est estimée à 71246. 10³ âmes.

Etant donné que la notion de la ville en RDC fait allusion à une agglomération de 100. 10³ habitants, le pays compte quelques dizaines de villes dont les plus importantes sont Kinshasa, Lubumbashi, Mbuji-Mayi, Kananga, Kisangani, Bukavu, Goma; la majorité d'entre elles compte au moins 1 million d'habitants. L'origine de ces villes remonte dans la plupart de cas, à l'époque coloniale. C'est la raison pour laquelle ces villes, qui croissent par étalement, présentent en général une image bicéphale caractérisée par une dualité spatiale: d'une part, une ville planifiée où l'on peut facilement localiser une maison et trouver un système d'égouttage, ou du moins ce qui en reste, et d'autre part, une ville spontanée, désorganisée et où règne généralement l'absence des ouvrages d'assainissement, notamment les égouts et collecteurs (Poinot *et al.*, 1989).

1.2.3 Ressources en eau

Avec 52 % des réserves en eau de surface et 23 % des ressources hydriques renouvelables de l'Afrique, la RDC est le pays disposant des ressources hydriques les plus abondantes en

Afrique (CICOS, 2007; Banque mondiale, 2008; UNEP, 2013). Comprenant une moyenne annuelle évaluée à 6000 milliards m^3 , le pays connaît des précipitations régulières et abondantes (moyenne de 1545 mm/an) mais inégalement réparties sur le plan géographique et selon des saisons (de 800 mm à 1800 mm).

La FAO (2005) indique que le pays jouit d'une grande autonomie en eau étant donné que 70 % de ses ressources actuelles en eau renouvelable estimées à 1283 km^3/an , découlent des précipitations sur le territoire national. Eba'a Atyi et Bayol (2009) mettent en évidence les raisons des richesses hydriques de la RDC et les attribuent à ses vastes forêts, qui s'étendent sur plus de 155,5 millions d'hectares. Les écosystèmes aquatiques congolais comprennent des réserves importantes en eau de surface (ESU) et eau souterraine (ESO). Les ESU sont dominées par le puissant fleuve Congo qui comprend un débit moyen de 41000 m^3/s (1260 km^3/an), le deuxième au monde après l'Amazone, et qui représente 15 fois le débit du fleuve le plus long de l'Afrique (le Nil) qui est alimenté également par les eaux des lacs Edouard et Léopold reliés par la rivière Semliki. Le fleuve Congo est long de 4700 km et fort de 3,7 millions de km^2 qui forment la superficie de son bassin, le plus grand du continent africain. CICOS (2007) signale que 62 % de son bassin se trouvent à l'intérieur du pays.

Selon la FAO (2005), le réseau hydrographique congolais est l'un des plus étendus au monde, totalisant plus de 20000 kilomètres de rives. Et avec une superficie d'environ 86080 km^2 , les lacs et les rivières représentent 3,5 % de la superficie du pays. A l'instar des eaux de surface, le potentiel hydrique souterrain est également bien représenté dans le pays. Cette catégorie des eaux n'est pas beaucoup exploitée et le recours au forage est de moins en moins pratiqué pour des raisons techniques ou économiques. Par ailleurs, selon la FAO (2005), 47 % des ressources hydriques renouvelables du pays (soit 421 km^3/an) sont attribués aux nappes phréatiques.

Cependant, les écosystèmes aquatiques font face à diverses menaces liées à la déforestation et au déboisement. Beaucoup de rapports n'ont cessé de dénoncer ces pratiques écocides sur l'environnement, hypothéquant l'avenir du pays ou de la sous-région. Mais, le pouvoir public préfère faire un profil bas et laisser pourrir la situation, au nom de la souveraineté nationale et au grand dam des populations. Dans ce chapitre, il est estimé que le taux global de déforestation à l'échelle nationale, relativement faible (0,2 % par an), connaît une incidence majeure autour des centres urbains et constitue une menace réelle sur les ressources hydriques (Eba'a Atyi et Bayol, 2009; UNEP, 2013).

1.2.4 Accès à l'eau potable et à l'assainissement

1.2.4.1 Accès à l'eau potable

En RDC, l'accès à l'eau potable présente de grandes disparités selon que l'on se trouve en milieu urbain ou en milieu rural et montre deux réalités opposées: d'une part, l'abondance

de l'eau douce du pays, dont la quantité disponible par individu, estimée en 2008 à 19967 m³ (UNEP, 2013), est largement supérieure au palier minimum international fixé à 1700 m³, et l'approvisionnement effectif par individu et par habitant d'autre part (FAO, 2005), caractérisé par un faible taux de consommation moyenne évalué à moins de 100 L par jour et par habitant par rapport au taux de consommation d'un européen (150 L/j/hab) ou d'un américain (500 L/j/hab).

Le tableau de la couverture urbaine d'accès à l'eau, montre que la plupart des raccordements d'eau (>85 %) se trouvent dans quatre provinces (Kinshasa, Bas Congo, Katanga et Sud-Kivu). De la capacité de production de la REGIDESO (la principale compagnie nationale de production et de distribution d'eau), ses centres de Kinshasa, Lubumbashi et Matadi sont les plus importants et détiennent à eux seuls 62 %. Aussi y concentre-t-elle 72 % de ses revenus et 79 % de sa clientèle active. Quoiqu'il en soit, le taux de consommation moyenne est faible. Selon l'hôtel de ville de Kinshasa, 45% des ménages ont un accès à une eau salubre et 25% sont des ménages dont les membres réalisent un parcours d'environ 1 km pour se ravitailler en eau. La consommation en litres par jour et par habitant, est de 155, 100, 50 et 10 respectivement pour les quartiers résidentiels, le centre des affaires, les cités planifiées et les autres cités d'extension périphériques. Disparités évidemment liées aux niveaux de standing de ces zones.

La couverture urbaine en eau est encore très faible dans 3 provinces (Equateur, Kasai Occidental et Maniema) où elle est de 5 % seulement. En somme, les grands bénéficiaires de l'eau produite par la REGIDESO sont les industries, suivies des casernes militaires, des camps de police et des bâtiments publics (hôpitaux, écoles, marchés, stades, etc.), qui, paradoxalement, à cause de l'état défectueux des robinets, laissent couler l'eau à la longueur des journées (OMS/UNICEF, 2000).

1.2.4.2 Accès à l'assainissement

En milieu urbain du pays, l'assainissement en général et l'assainissement liquide en particulier, sont caractérisés par un sous-développement aussi bien en infrastructures physiques qu'en structures administratives régionales. La pratique répandue consiste au rejet des effluents (domestiques et industriels) dans la nature sans traitement préalable, et souvent dans les rivières traversant les villes. La production des effluents domestiques étant fortement corrélée à la consommation de l'eau, les structures publiques produisent également de gros volumes d'eaux usées.

De par l'importance démographique en plein essor en milieu urbain, la production des effluents au niveau des ménages est aussi énorme et pose de sérieux problèmes de gestion. Les enquêtes MICS (Enquête par Grappes à Indicateurs Multiples) réalisées à Kinshasa en 2010, indiquent que 1,1% des ménages défèquent dans la brousse. En parallèle, Lelo (2008) mentionne que 4% des ménages du quartier Paka-Djuma font leurs besoins dans la rivière

Yolo, 2% des ménages de la commune de Kisenso dans les sites érosifs, 60% des ménages de la commune de Mont-Ngafula dans les ravins. La gestion de la vidange des fosses septiques est assurée par le secteur privé et le programme national d'assainissement. Ce dernier programme est une structure étatique, qui n'est opérationnelle qu'à Kinshasa, la capitale du pays. Il se fait que cette pratique d'assainissement se limite simplement à la vidange mais le reste du processus relatif à l'évacuation et au dépotage/traitement, ne constitue pas une priorité tant pour les décideurs publics que pour la société civile et les populations.

La filière d'évacuation des effluents est généralement déficitaire dans toutes les villes du pays. Le système d'égouttage semble être absent; et lorsqu'ils existent, les égouts, souvent vétustes, ne constituent que de simples systèmes de canalisations utilisés pour drainer les flux d'eaux usées brutes et pluviales directement vers les récepteurs naturels (rivières, fleuves, lacs, océan). Lelo et Tshimanga (2004) évaluent à 13% des ménages des communes de Lingwala et Ngaliema qui évacuent leurs eaux usées dans les trous parcellaires, tandis que les enquêtes de MICS (2010) rapportent un taux de 45,2% qui évacuent leurs effluents dans la parcelle. Faute d'entretien, les quelques réseaux collectifs existant dans les grandes villes sont pour la plupart obstrués ou détruits. Vu ces réalités, les rivières qui traversent les villes du pays sont utilisées comme des égouts à ciel ouvert et cette pratique est répandue dans les villes congolaises. Dans ce lot, on peut citer les rivières Kabondo et Djubudjubu dans la ville de Kisangani; Kahwa, Weshia, Tshula et Bwindi dans la ville de Bukavu; Lukunga, Yolo, Makelele, Basoko, Bumbu, Funu, Kalamu et Ndjili dans la ville de Kinshasa.

Par ailleurs, les industries sont également d'importantes sources de production des pollutions. Les études menées par IGIP (2005) à Kinshasa, font état d'une production annuelle respective de 5.10^5 m^3 et 65.10^4 m^3 d'effluents chargés de soude caustique, colle, levure et hydrocarbures par la brasserie du Congo (Bracongo) et la Bralima, et de 95.10^4 m^3 d'effluents par la compagnie textile appelée Congotextile.

En plus, à part le contexte climatique, les déchets jetés dans les rivières, principalement les déchets solides, finissent par les obstruer, provoquant souvent des inondations et semant désolations de tous genres au sein des communautés. Les cas des inondations dans les villes du pays sont répandus et sont archivés dans beaucoup de travaux scientifiques inédits ou publiés (Ilunga, 1989; Sadiki *et al.*, 2010; Lelo, 2008; Moyerson *et al.*, 2004; UNEP, 2013).

Aussi la notion de traitement n'est-elle pas prioritaire dans les programmes politiques, et la population n'en connaît pas grand-chose. Il n'y a quasiment pas de pratiques de traitement des eaux usées et toutes les stations d'épuration héritées lors de l'accession du pays à l'indépendance sont hors de service ou ont disparu. L'assainissement individuel, laissé à l'initiative privée qui domine très largement ce secteur, fait cependant appel à des techniques exécutées sans contrôle et, la plupart du temps, très sommaires par manque de moyens des usagers.

Ces différentes pratiques qui caractérisent la collecte et l'évacuation des déchets, auxquelles s'ajoute l'absence du traitement, contribuent à la prolifération des parasites et des germes pathogènes, faisant augmenter la prévalence des maladies liées à l'eau. Dans cette optique, les épisodes épidémiques de choléra qu'observe le pays, les endémies des maladies comme le paludisme, les salmonelloses et les diarrhées que l'on observe et qui augmentent la fréquentation des cas en milieu hospitalier montrent à suffisance la vulnérabilité de l'état de santé des populations, causée par l'absence de gestion des déchets (OMS/UNICEF, 2000; UNEP, 2013).

En guise d'illustration, les affections parasitaires gastro-intestinales sont répandues dans le pays. Déjà, en 1966, les enquêtes faites par Van Hees et celles réalisées en 1969 par Gatti citées PNAE (2004) avait révélé une proportion de 95% des écoliers porteurs des vers intestinaux dans les zones périurbaines. Dans la même période, les études de Muyembe (1969) avaient confirmé que la plupart des enfants de la capitale étaient porteurs des parasites intestinaux, dont ascaris (71,6%), ankylostomes (78,6%), strongles (29,9%), trichuris (48%). En 2007, l'hôtel de ville de Kinshasa estime que 85% des enfants âgés de 6 à 10 ans dans les quartiers périphériques portent plus d'un parasite en permanence.

Dans le quartier riverain de Kingabwa-pêcheurs, il a été révélé que 61% des enfants souffrent de la diarrhée, 43% de la fièvre typhoïde, 43% de l'amibiase et 22% de la dermatose (Lelo 2008); l'auteur signale également que la rivière Funa est l'un des foyers du schistosome. D'après MICS, le taux de prévalence des maladies diarrhéiques auprès des enfants en âge préscolaire est de 22%. Dans le même contexte, Musibono *et al.* (2005) ont montré à l'issue de leur étude sur les échantillons d'amarante (*Amarantus hybridis L.*) dans 5 sites maraîchers en s'éloignant progressivement de 5, 10, 20 et 30 m de la route, que les légumes cultivés entre 5 et 10 m de la route étaient beaucoup plus chargés de plomb que les autres cultivés plus loin. Ainsi, leur lessivage vers l'écosystème aquatique provoquerait des nuisances dues à ce métal lourd chez les poissons par exemple, qui, par la chaîne trophique et la bioconcentration, pourrait atteindre l'homme et causer le saturnisme surtout chez les enfants.

1.2.5 Aspects socio-économiques

En matière d'approvisionnement en eau tant en zone rurale qu'urbaine, la quasi-totalité des investissements est l'œuvre des bailleurs internationaux. Le taux de recouvrement des recettes par la REGIDESO est faible; de l'ordre de 49 % (UNEP, 2011). Cette situation est principalement causée par le non-paiement par les instances politico-administratives qui bénéficient d'environ 35 % de la production totale, et dont la dette s'évalue à 30 millions de dollars par an. A la faiblesse de recouvrement, ces sources fustigent le fait que moins d'un tiers des raccordements actifs sont équipés d'un compteur et que lorsqu'il y en a, beaucoup ne sont pas opérationnels. Ce qui conduit à une facturation forfaitaire, désavantageant souvent les populations. Aussi, l'état défectueux de la tuyauterie provoque de pertes

importantes d'eau le long du processus de distribution, ce qui expose tant la société que les consommateurs.

Les travaux de Lelo et Tshimanga (2004) reconnaissent le contexte économique déficitaire comme étant la cause aggravante de détérioration de l'environnement de Kinshasa. A cette considération, on peut ajouter l'importance du contexte culturel dans la destruction du tissu environnemental urbain. En plus, la compétence requise dans ce domaine est faiblement représentée et, de ce fait, les tâches de gestion sont souvent accomplies par des personnes non qualifiées, limitant par conséquent la satisfaction de la communauté bénéficiaire ou la durabilité des ouvrages. A cette pénurie de cadres, on peut aussi ajouter le clientélisme politique (passation de marché) et l'absence de suivi-évaluation pour pérenniser les actions entreprises.

1.3 Synthèse des travaux consultés

En vue de mieux visualiser et exploiter aisément cet état de l'art, nous avons préféré consigner les principales informations quantitatives dans les tableaux synoptiques (Tableau 1; annexes 1, 2 et 3). En 1990, le Niger et le Bénin forment un groupe avec une similarité de 88,5%; on y observe une forte défécation en plein air, avec la prise en compte de la majorité des paramètres. Le Kenya, le Malawi, la RD. Congo, le Nigeria, l'Ouganda et le Burundi ont une similarité supérieure à 90%. La Namibie et le Mali se distinguent quelque peu en singleton (Figure 1).

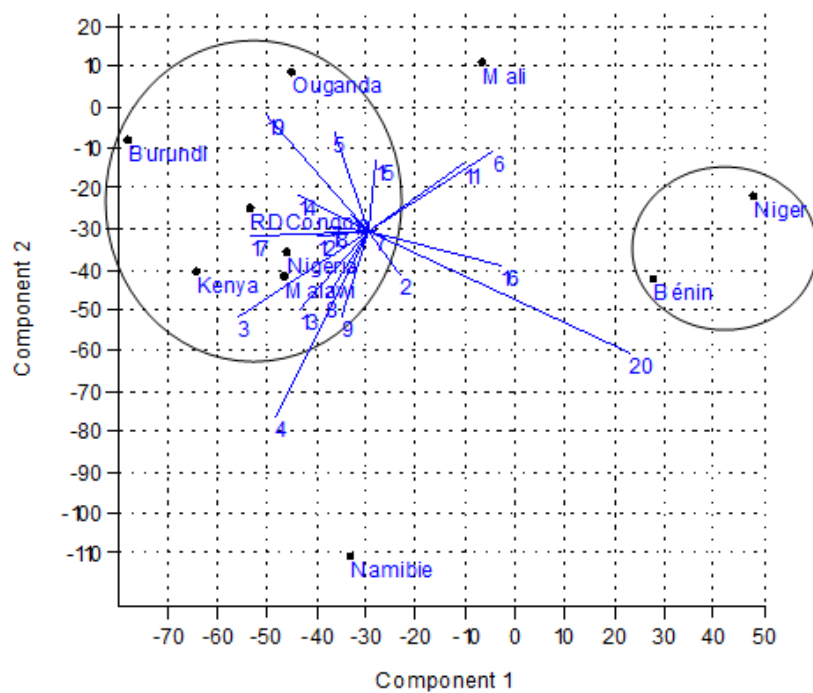
En 2011, 21 ans plus tard, on observe une très forte similarité entre le Niger et le Bénin comme au paravant. La Namibie demeure un singleton, aussi le Burundi et l'Ouganda, ainsi que le Mali. Le Kenya se rapproche de la RD. Congo. Le Malawi se regroupe avec le Nigeria. Le regroupement est déterminé significativement par la proportion urbaine de la population; à la proportion urbaine accédant à des points d'eau non améliorés; aux points d'eau améliorés au niveau national; et installations partagées non améliorées au niveau urbain.

Les plus faibles proportions urbaines des populations caractérisent l'Ouganda et le Burundi. Cette caractéristique fluctue beaucoup au sein du groupe Malawi, Nigeria; et Niger-Bénin. La proportion urbaine accédant à des points d'eau non améliorés est très élevée au Mali, Kenya, RD. Congo et Burundi. La proportion des autres points non améliorés au niveau national, est très remarquable au Malawi, Nigeria, Ouganda et Burundi; tandis que les installations partagées non améliorées au niveau urbain, présentent un maximum en Ouganda.

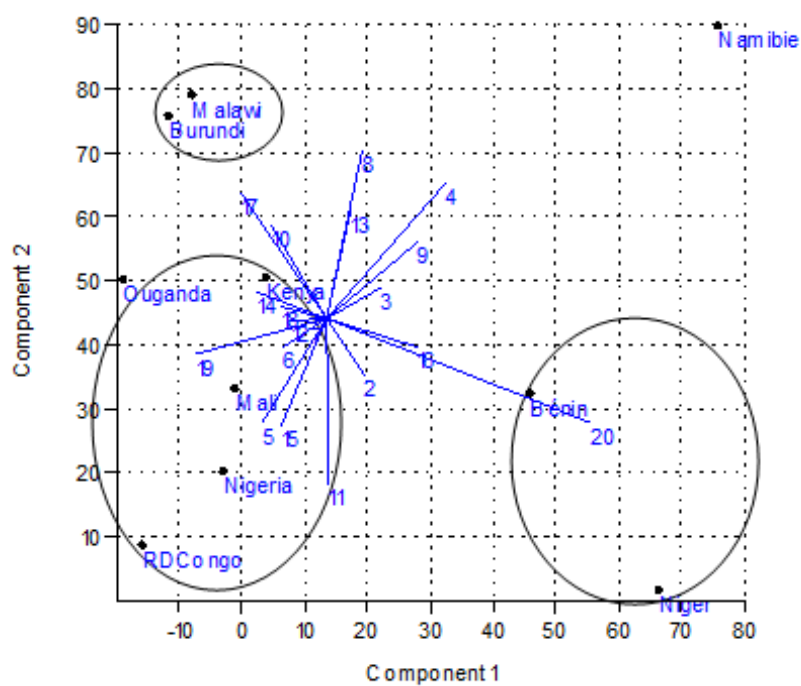
Tableau 1. Synthèse évolutive d'accessibilité à l'eau et à l'assainissement en RDC et dans quelques pays subsahariens

Pays	Année	Populations (en milliers)	Population urbaine (%)	Utilisation de points d'eau (pourcentage de la population)										Utilisation d'installations d'assainissement (pourcentage de la population)							
				Urbain					National					Urbain				National			
				Améliorés			Non améliorés		Améliorés			Non améliorés		Améliorés	Non améliorés			Améliorés	Non améliorés		
				Total ayant accès à points d'eau améliorés	Branchements domestiques	Autres points d'eau améliorés	Non améliorés	Eaux de surface	Total ayant accès à points d'eau améliorés	Branchements domestiques	Autres points d'eau améliorés	Non améliorés	Eaux de surface		Installations partagées	Installations non améliorés	Défécation en plein air		Installations partagées	Installations non améliorés	Défécation en plein air
Bénin	1990	4773	34	72	16	56	19	9	57	5	52	21	22	14	20	14	52	5	7	8	80
	2000	6518	38	78	23	55	17	5	66	10	56	21	13	19	28	13	40	9	15	7	69
	2011	9100	45	85	32	53	13	2	76	16	60	20	4	25	37	11	27	14	23	9	54
Burundi	1990	5602	6	97	32	65	1	2	69	3	66	23	8	33	26	40	1	42	6	49	3
	2000	6374	8	90	39	51	7	3	72	4	68	17	11	38	31	30	1	46	7	44	3
	2011	8575	11	82	46	36	13	5	74	6	68	12	14	45	36	17	2	50	9	38	3
Kenya	1990	23447	17	92	56	36	4	4	43	18	25	16	41	26	40	31	3	25	20	36	19
	2000	31254	20	87	50	37	9	4	52	19	33	15	33	29	44	24	3	27	22	35	16
	2011	41610	24	83	45	38	12	5	61	20	41	15	24	31	47	19	3	29	26	31	14
Malawi	1990	9381	12	91	40	51	5	4	42	6	36	41	17	48	43	5	4	39	24	6	31
	2000	11229	15	93	35	58	5	2	63	7	56	27	10	49	44	4	3	46	29	6	19

	2011	15381	16	95	30	65	5	0	84	7	77	13	3	50	45	3	2	53	33	8	6
Mali	1990	8673	23	53	17	36	45	2	28	4	24	63	9	33	36	26	5	15	13	43	29
	2000	11295	28	70	26	44	29	1	45	8	37	50	5	34	37	25	4	18	16	45	21
	2011	15840	35	89	35	54	11	0	65	13	52	33	2	35	38	23	4	22	19	45	14
Namibie	1990	1415	28	99	82	17	1	0	64	33	31	26	10	62	22	5	11	24	7	6	63
	2000	1896	32	99	77	22	1	0	80	39	41	11	9	60	21	4	15	28	9	6	57
	2011	2324	38	99	72	27	1	0	93	45	48	1	6	57	20	4	19	32	10	6	52
Niger	1990	7788	15	57	21	36	42	1	35	3	32	62	3	19	14	41	26	4	3	9	84
	2000	10922	16	78	30	48	22	0	42	6	36	55	3	27	20	31	22	7	4	8	81
	2011	16069	18	100	39	61	0	0	50	8	42	48	2	34	25	21	20	10	6	6	78
Nigeria	1990	97552	35	81	33	48	16	3	47	14	33	26	27	40	44	10	6	38	26	12	24
	2000	123689	42	78	20	58	18	4	55	10	45	25	20	37	40	13	10	34	25	18	23
	2011	162471	50	75	7	68	19	6	61	4	57	25	14	33	36	16	15	31	24	22	23
Ouganda	1990	17700	11	79	8	71	18	3	41	1	40	35	24	33	48	17	2	27	16	37	20
	2000	24213	12	85	14	71	12	3	57	2	55	26	17	33	49	16	2	31	18	37	14
	2011	34509	16	91	20	71	6	3	75	5	70	16	9	34	50	15	1	35	21	35	9
RD. Congo	1990	36406	28	88	49	39	11	1	43	14	29	33	24	32	27	36	5	17	11	54	18
	2000	49626	29	85	38	47	13	2	44	12	32	35	21	31	26	39	4	23	13	50	14
	2011	67558	34	80	22	58	17	3	46	8	38	37	17	29	25	45	1	31	17	43	9
	2015	71246	42	81	17	64	16	3	52	8	44	37	11	29	26	42	3	29	19	42	10



(a) 2000



(b) 2011

Figure 1. Similarité de quelques pays subsahariens suivant l'accès à l'eau et à l'assainissement en 2000 et 2011

Conclusion

Dans ce chapitre, il a été question de réaliser un tour d'horizon sur la problématique de la gestion de l'eau et de l'assainissement en Afrique sub-saharienne. La lecture des travaux consultés qui relèvent de différentes thématiques (accès à l'eau potable et à l'assainissement, pollution de l'eau, management de l'espace urbain, politique environnementale, etc.), a permis d'identifier les contraintes et lacunes auxquelles fait face le domaine de l'eau et de l'assainissement dans les pays sub-sahariens, et où l'on peut citer entre autres caractéristiques générales, le déficit ou l'inadaptation des dispositions juridiques et institutionnelles, la carence financière, la pollution des eaux, la pénurie en expertise. Ces caractéristiques constituent un cas latent de destruction du cadre de vie dans les écosystèmes urbains en cette espace du continent africain. D'où la nécessité de voir intervenir des recherches susceptibles d'interpeler les acteurs de toutes les forces vives tant nationales qu'internationales. La spécificité de la présente étude se veut d'aborder le problème de l'assainissement dans une optique transversale basée sur une approche qui demande la conjugaison des aspects sanitaires (socio-économie, physicochimie et microbiologie) et la notion des charges (flux) de pollutions dans les eaux résiduelles d'un espace urbain donné.

Références bibliographiques

- Ahoussi K.E., Koffi Y.B., Kouassi A.M., Soro G., Biemi J. (2013). Etude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman). *Journal of Applied Biosciences* 63: 4703-4719.
- Allogho-Nkoghe F.M. (2006). Politique de la ville et logique d'acteurs. A la recherche d'alternatives d'aménagement pour les quartiers informels de Libreville (Gabon). Thèse de doctorat, Université Paul Valéry-Montpellier III, 561 p.
- Almeida M. C., Butler D. et Friedler E. (1999). At source wastewater quality. *Urban water* 1, pp 49-55.
- Aouij M. (2000). Le droit de l'eau potable en Tunisie. Points Pays. Disponible sur <http://www.waternunc.com/fr/Point>. Consulté le 20 avril 2014.
- Assongmo T. (2003). Les quartiers marginaux de l'agglomération de Yaoundé: logique de constitution et problèmes d'aménagement. Ateliers nationaux de reproduction des thèses, Lille, 2003.
- Bakari M.S. (2006). Assainissement à Nouakchott. Article publié au quotidien Horizons. Nouakchott, Mauritanie, 6p.

Banque africaine de développement (2012). Projet d'alimentation en eau potable et d'assainissement de huit centres secondaires et des zones rurales environnantes: rapport d'évaluation, Tchad, 15 p.

Banque mondiale (2008). Project Appraisal Document on a Proposed Grant to the Democratic Republic of Congo for an Urban Water Supply Project, 26 p.

Bied-Charreton, Petit O., Makkaoui R., Requier-Desjardins M. (2004). La gouvernance des ressources en eau dans les pays en développement, *Cahier du C3ED*, Centre d'Economie et d'Ethique pour l'Environnement et le Développement, Université de Versailles St-Quentin-en-Yvelines, 43 p.

Briscoe J., Feachem R.G. et Mujibur Rahaman M. (1987). Evaluation de l'effet sur la santé: approvisionnement en eau, assainissement et hygiène. UNICEF, ICDDR_B, CRDI (Centre de Recherche pour le Développement International), Ottawa, Canada, 86p.

Centre mauritanien d'études politiques (2004). Rapport sur la mise en œuvre du cadre stratégique de lutte contre la pauvreté, 61 p.

Chaggu E.J., 2003. Sustainable Environmental Protection Using Modified Pit-Latrines. Thèse de doctorat, Wageningen Universiteit, Nederland, 141 p.

Chippaux J.P., Houssier S., Gross P., Bouvier C. et Brissaud F. (2002). Etude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger. Bull. Soc. Pathol. Exot., 94, 2, pp. 119-123.

CICOS (2007). In UNEP (2013). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo: Défis et opportunités. Rapport technique Nairobi, Kenya, 94 p.

Cissé G. (2002). Risques sanitaires et environnementaux associés à la réutilisation des eaux usées en agriculture urbaine dans les villes d'Afrique de l'Ouest. *Visite d'étude et Atelier international sur la réutilisation des eaux usées en agriculture urbaine: un défi pour les municipalités en Afrique de l'Ouest et du Centre*. Ouagadougou, Burkina Faso, 3-8 juin, ETC/RUAF-CREPA-CTA, rapport final, pp. 46-58.

Cosgrove, W.J. & F.R. Rijsberman (2000) World Water Vision: Making Water Everybody's Business. London: Earthscan Publications.

Coulibaly A., Mondé S., Wognin V. A., Aka K. (2008). State of anthropic pollution in the estuary of Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire) by analysis of the metal elements traces. European Journal of Scientific Research, **19**(2): 372-390.

Dillinger (1995). Pour de meilleurs services urbains. Trouver les bonnes incitations, Washington, Banque mondiale, 96p.

Djariri M.L. (2009). Réduction des coûts des ouvrages d'assainissement dans le cadre du projet Assainissement productif à Aguié Au Niger. Mémoire du master spécialisé en génie

sanitaire et environnement. Institut international de l'eau et de l'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 59 p.

Djeuda Tchapnga H.B., Tanawa E., Siakeu J. et Ngnikam E. (1998). Contraintes sociales liées à la mise en place des périmètres de protection des ressources en eau dans les zones périurbaines et les petits centres des pays en développement. Communication présentée au IIème Symposium International en gestion et technologies appropriées pour l'eau aux petits ensembles habités. Barcelone (Espagne). Du 13 au 15 octobre 1998. 11p.

Djuikom E. (1997) : Qualité bactériologique et bactériologique et physico-chimique des cours d'eau du réseau du Mfoundi à Yaoundé. Thèse de Doctorat 3è cycle en Biologie Animale, option Microbiologie des Eaux, Laboratoire de Biologie Générale, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I.

Eau vive (2010). Rapport annuel 2010. *eau vive*, 40p.

Eba'a Atyi R. et Bayol N. (2009). The Forests of the Democratic Republic of Congo in 2008. In: The Forests of the Congo Basin-State of The Forest 2008 (C. de Wasseige, D. Devers, P. de Marcken, R. Eba'a Atyi, R. Nasi and P. Mayaux, Eds.) Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Eblin S.G., Sombo A.P., Soro G., Aka N., Kambiré O., Soro N. (2014). Hydrochimie des eaux de surface de la région d'Adiaké (sud-est côtier de la Côte d'Ivoire), Journal of Applied Biosciences 75: 6259-6271.

FAO (2005). In UNEP (2013). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo: Défis et opportunités. Rapport technique Nairobi, Kenya, 94 p.

Gatti F., Vandepitte J., van Oye E. & Makulu A. (1968). Etude bactériologique et épidémiologique des Salmonelloses observées aux Cliniques Universitaires de Kinshasa (Congo). Ann. Soc. belge Méd. trop.,48, 195-224.

Gishinge Kasavubu M. (2006). Analyse contextuelle en matière de gestion intégrée des ressources en eau (gire) au Burundi. rapport final. Protos. 87p.

Hardoy J.E., Cairncross S. and Satterthwaite D. (1990). The poor die young - housing and health in third world cities. Earthscan, London.

Hassani M.I. et Mebrouk N. (1999). Limits of rules concerning the protection of water catchments designed for the human consumption : Maghreb case. Acts XXIX congress of IAH, Hydrogeology and land use management. September-Bratislava.

Hespanhol & Prost (1994).WHO guidelines and national standards for reuse and water quality. Wat Res. 28, 119-124.

Hôtel de ville de Kinshasa (2007). Programme du gouvernement provincial 2007-2011, Kinshasa, 46p.

IGIP (2005). Le plan d'action pour l'assainissement de la ville de Kinshasa. Rapport technique. 18p.

Ilunga L. (1989). Problèmes géologiques d'aménagement dans la zone de Kadutu (ville de Bukavu, Zaïre). Cahiers du CERUKI, nouvelle série, n° 24, pp. 40-51.

Journal officiel (2012) (<http://www.leganet.cd/JO.htm>). Consulté le 25 mai 2015.

Kone Brama *et al.* (2006)

Kouam Kemnogne G.R., Mpakam H.G., Djomou Bopda S., Ayonghe Ndonwi S. et Ekodeck G.E. (2006). Gestion intégrée des ressources en eau et objectifs du millénaire pour le développement en Afrique: cas du Cameroun. *VertigO.*, 7, 2, 10p.

Kouam Kemnogne G.R. (2013). Vers une gestion rationnelle de l'eau dans une situation complexe d'urbanisation anarchique dans un pays en développement : cas du bassin versant de l'Abiergué (Yaounde-Cameroun). Thèse de doctorat, Université de Liège, 256 p.

Kouam Kenmogne G.R., Rosillon F., Mpakam H. G. et Nono A. (2010). Enjeux sanitaires, socio-économiques et environnementaux liés à la réutilisation des eaux usées dans le maraîchage urbain : cas du bassin versant de l'Abiergué (Yaoundé-cameroun). *VertigO*. La revue électronique en Sciences de l'Environnement. Vol. 10, N°2. 16P.

Lami (2002). Evaluation de la pollution due au rejet des eaux usées et des déchets solides et mise au point de la carte de pollution de la ville de Yaoundé. Mémoire de fin d'Etude ; ENSP, 58 p.

Laminou S.(2006). Identification des risques sanitaires et des opportunités de production de fertilisant dans le système de collecte d'urine du projet d'assainissement productif dans le département d'Aguié au Niger. Master en Génie sanitaire et Environnement, Niger. 55p.

Lasserre G. (1958). Libreville, la ville et sa région. A Colin, Paris, 346p.

Lelo N.F. (2008). Ville et environnement. Espace Harmattan Kinshasa, 282p.

Lelo N.F. et Tshimanga M.C. (2004). Pauvreté urbaine à Kinshasa. La Haye. Ed. Cordaid, 166p.

Leseau (2002). Inventaire des déchets solides et liquides non ménagers de la ville de Yaoundé. Rapport final. ENSP Yaoundé, 153 p.

Metela S. (2010). «Physionomie démographique de la République Démocratique du Congo de 1957 à 2007: évolution et facteurs explicatifs», Actes du colloque sur les questions de population, développement et pauvreté en RDC, pp. 44-55.

MICS-RDC (2002). Enquête à indicateurs multiples de la République démographique du Congo, Kinshasa.

MINEE-GWP (2009). In Kouam Kemnogne G.R. (2013). Vers une gestion rationnelle de l'eau dans une situation complexe d'urbanisation anarchique dans un pays en développement : cas du bassin versant de l'Abiergué (Yaounde-Cameroun). Thèse de doctorat, Université de Liège, 256p.

République du Tchad, Ministère de l'environnement et de l'assainissement (2012). Projet d'alimentation en eau potable et d'assainissement de huit centres secondaires et des zones rurales environnantes. Rapport d'évaluation, 27p.

Montangero A., Strauss M., Dembélé A. (2000). Gestion des boues de vidange : Parent pauvre de l'assainissement et défi à relever. 12e conférence des centres du réseau international de formation à la gestion de l'eau et des déchets (RIF/ITN) d'Afrique, Ouagadougou, 12p.

Morella E., Foster V., and Banerjee S.G. (2008). Diagnostics des infrastructures nationales en Afrique: L'état de l'assainissement en Afrique subsaharienne. Document de référence n°13, Banque mondiale et SSATP, 10p.

Moeyersons J., Trefois Ph., Lavreau J., Alimasi D., Badriyo D., Mitima B., Mundala M., Munganga D.O. & Nahimana L. (2004). A geomorphological assessment of landslide origin at Bukavu, Democratic Republic of Congo. *Engineering Geology*, 72/1: 73-87.

Musibono D.E., Kilensele M., Mbimbi M., Iteku B., Mindele U., Ntakoy N., Mondo M. et Sinikuna M. (2005). Lead (Pb) profile in vegetables (*Amaranthus hybridis* L.) from Kinshasa (DR. Congo), *Annales de la Faculté des Sciences*, vol.1, Université de Kinshasa, pp 43-49.

Muyembe (1969). In Lelo N.F. (2008). Ville et environnement. Espace Harmattan Kinshasa, 282p.

République Démocratique du Congo, Hôtel de ville de Kinshasa (2007). Programme du gouvernement provincial 2007-2011, pp. 15-18.

Ngondo P. (2001). «Physionomie démographique de la République Démocratique du Congo et de l'Afrique» Document Pédagogique n° 2, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Département des Sciences de la Population et du Développement, PUK, Kinshasa, 113 p.

Niemczynowicz J. (1999). Urban hydrology and water management - present and future challenges. *Urban Water* 1. pp. 1-14.

Nsavyimana G. (2014). Modélisation des processus physiques et biologiques dans des fosses septiques et voie de valorisation des boues de vidange: application à Bujumbura-Burundi. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 427p.

OMS/UNICEF-WHO/UNICEF (2000). Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation (ISBN 92 4 156202 1). 80p.

OMS/UNICEF (2013). Progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau – Rapport 2013. Bibliothèque OMS. ISBN 978 92 4 250539 9; 40p.

OMS/UNICEF (2015). Progress on sanitation and drinking water. 2015 update and MDG Assesment. Bibliothèque OMS. ISBN 978 92 4 1509145; 80p.

OMS/UNICEF (2010). Joint Monitoring, Programme. Progress on Sanitation and DrinkingWater 2010 Update. Available at

<http://whqlibdoc.who.int/publications/2010/97892>

OMS/UNICEF (2007). Atteindre l'OMD relatif à l'eau potable et à l'assainissement. Le défi urbain et rural de la décennie.

PNAE (2004). In UNEP (2013). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo: Défis et opportunités. Rapport technique. Nairobi, Kenya, 94 p.

Programme des Nations Unies pour le Développement (2006). Au delà de la pénurie: pouvoir, pauvreté et crise mondiale de l'eau: rapport mondial sur le développement humain 2006. Programme des Nations Unies pour le Développement, New-York (Etats-Unis)/Economica, Paris (France). 422 p.

Poinsot J., Sinou A. et Sternadel J. (1989). Les villes d'Afrique noire entre 1650 et 1960. *Politiques et opérations d'urbanisme et d'habitat*, Paris, La documentation française, 346 p.

Priso R.J., Oum G.O. et Din Ndongo (2012). Utilisation des macrophytes comme descripteurs de la qualité des eaux de la rivière Kondi dans la ville de Douala (Cameroun-Afrique Centrale), *Journal of Applied Biosciences* 53: 3797-3811.

Programme de gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain (2003).

Rosillon F., Savadogo B., Kabore A., Bado-Sama H. et Dianou D. (2012). Attempts to answer of the origin of the high nitrates concentrations in groundwater of the Sourou Valley in Burkina Faso. *Journal of Water Resource and Protection*, 663673. DOI:10.4236/Jwarp.2012.48077, 4p.

Rotich, K. Henry, Zhao, Y., Dong J. (2006). Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study. *Waste Management*, 26, (1), 92-100

Sadiki N., Vandecasteele I., Moeyersons J., Ozer A., Ozer P., Kalegamire D., Bahati C. (2010). Développement de la ville de Bukavu et cartographie des vulnérabilités, R.D. Congo. *Annales de la faculté des Sciences et Sciences Appliquées*, Université Officielle de Bukavu. Vol. 2, pp. 120-127.

Salem G. (1998). La santé dans la ville. Géographie d'un espace dense: Pikine (Sénégal). Editions Karthala-ORSTOM, Paris, 360p.

Soro N., Ouattara L., Dongo K., Kouadio K. E., Ahoussi K. E., Soro G., Oga Y. M.-S., Savane I., Biémi J. (2010). Déchets municipaux dans le District d'Abidjan en Côte d'Ivoire : sources potentielles de pollution des eaux souterraines. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (6): 2203-2219.

Sy I., Koita M., Traore D., Keita M., Lo Baidy, Tanner M. et Gueladio C. (2011). Vulnérabilité sanitaire et environnementale dans les quartiers défavorisés de Nouakchott (Mauritanie) : analyse des conditions d'émergence et de développement de maladies en milieu urbain sahélien. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Vol. 11, N°2, mis en ligne le 18 Septembre 2011. Consulté le 22 Octobre 2012. <http://vertigo.revues.org/11174>.

Tearfund (2007). Assainissement et hygiène dans les pays en voie de développement : identifier les obstacles et y apporter des réponses. Etude de cas en République Démocratique du Congo. 100 Church Road, Teddington, Middlesex, TW11 8QE, Royaume-Uni, 53p.

UNEP (2013). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo: Défis et opportunités. Rapport technique. Nairobi, Kenya, 94 p.

Useni (2007). "Cadre institutionnel sur l'assainissement", in Atelier sur la définition d'une approche structurée sur la gestion des déchets solides à Kinshasa du 7 au 8 février 2007 au centre Nganda de Kinshasa, 10p.

Van Hees (1966). In UNEP (2013). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo: Défis et opportunités. Rapport technique. Nairobi, Kenya, 94 p.

Wethe J., Radoux M. et Tanawa E. (2003). Assainissement des eaux usées et risques socio-sanitaires et environnementaux en zone d'habitat planifié de Yaoundé (Cameroun). *VertigO. La revue électronique en Sciences de l'Environnement*, Vol. 4, N°1. 18p.

Wyss K., Yemadji N.D., Cissé G. et Tanner M. (2001). Gestion par leurs occupants d'environnements défavorisés au Sahel, *SEMPERVIRA* numéro 10, pp. 50-95.

Webographie

<http://www.romandie.com/news/Refugies-plus-de-38-millions-de-deplaces/590856.rom>.
23/08/2014

CHAPITRE II. PRESENTATION DE LA VILLE DE BUKAVU

2.1 Aspects géographique, géomorphologique, géologique et biologique

Repérée géographiquement par les coordonnées 2°3'S et 28°5'E, la ville de Bukavu, la capitale de la province du Sud-Kivu en RDC, est située à l'extrémité sud-ouest du lac Kivu qui la confine contre les hautes terres du massif montagneux du Kivu. 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. La ville est séparée du Rwanda par le lac Kivu, ainsi que par la rivière Ruzizi (Ilunga, 1989). D'après Chamaa *et al.* (1981), elle possède une superficie de 63 km² dont 43 km² de terre ferme et 20 km² occupés par le lac.

En effet, le lac Kivu se trouve entre le lac Edouard (916 m) au nord et le lac Tanganyika (774 m) au Sud; il est situé à une altitude de 1460 m dans une dépression bordée par les hauts reliefs précambriens (3000-3500 m), formée à ses 2 extrémités par des barrages volcaniques naturels. Selon Schmid *et al.* (2003), il comprend une superficie de 2370 km² et 560 km³ de volume. Aussi, dans ses profondeurs se stockent d'importantes quantités de gaz, notamment le méthane (60 km³) et le gaz carbonique (250 km³), selon Kaningini *et al.* (1999) et Schmid *et al.* (2005). Ces gaz représenteraient un danger permanent pour 2 millions des populations qui vivent à proximité de ce lac s'ils parvenaient à s'échapper. En fait, les concentrations des gaz dans le lac Kivu sont 1000 fois celles du lac Nyos au Cameroun qui a laissé s'échapper ses gaz en août 1986, ayant causé la mort par asphyxie de 1700 personnes (Halbwachs, 2004).

La zone littorale du lac Kivu joue un important rôle comme habitat permanent pour 27 des 29 espèces de poissons qui le peuplent, et comme frayère pour *Limnothrissa miodon* qui forme la principale ressource halieutique (Isumbisho *et al.*, 2004; Masilya *et al.*, 2011 et Muvundja *et al.*, 2014). En dépit de cette importance écologique et socio-économique, le littoral est moins doté naturellement à cause du caractère abrupt des cotes (Kaningini *et al.*, 1999). La rivière Ruzizi constitue le déversoir de ses eaux vers le lac Tanganyika, formant ainsi une bonne partie de frontières de la RDC avec le Rwanda et le Burundi.

D'après Ilunga (1989), la ville de Bukavu se trouve à l'intersection de 2 directions structurales: la direction albertienne NE-SO au nord et la direction tanganyikienne NO-SE au sud. Elle appartient à l'ensemble éco-géologique de hautes terres du rift du Kivu situé au nord du lac Tanganyika, qui s'étend (vers le nord) jusqu'à Kalehe et dont la morphologie est faite de hauts plateaux étagés entre 773 m d'altitude (lac Tanganyika) et la crête occidentale du rift, culminant à 3360 m (Mont Kahuzi).

Le bassin de Bukavu est un couloir dissymétrique d'orientation N-S, commençant à la baie de Bukavu (1460 m) et se poursuivant jusqu'à Buholo (1800 m) comme précisé par Moeyersons *et al.* (2003). Etant la plus perchée de la RDC (altitude moyenne de 1490 m), la ville de Bukavu, qui comprend trois communes administratives (Bagira, Ibanda et Kadutu), est bâtie sur un relief accidenté et présente des dénivellations de plusieurs centaines de mètres de

hauteur sur des distances courtes. Comme l'illustrent les 300 m de dénivellation entre Kadutu-Haut (1800m) et Kadutu-Bas (1500 m) ou une dénivellation d'ordre de 732 m qui existe sur une distance de moins de 5 km séparant Mont Bogwe (2194 m) et le lac Kivu (1462 m). Ou aussi, les 5 km, enregistrés à vol d'oiseau entre la commune de Bagira et la Grande Poste de Bukavu, contre les 10 km par la route. La marche à pied n'y est pas aisée à voir la longueur des pentes à dévaler et à grimper.

Sur le plan géomorphologique, Bukavu connaît un développement sur le versant occidental de la rivière Kahwa en commune de Kadutu, composé d'une série de blocs juxtaposés séparés par des parois à pentes raides, suggérant des escarpements de faille originels; la commune d'Ibanda donne l'apparence d'un plateau disséqué (Tréfois *et al.*, 2002). Les 3 grandes failles sont visibles, dont, de l'est vers l'ouest, les failles de Kahwa, Funu et Cimpunda. Avec des valeurs de pentes fréquemment supérieures à 20% (entre 11 et 12°), des valeurs souvent au-delà des talus d'équilibre des éboulis et des projections volcaniques, les versants deviennent très sensibles aux mouvements de masse profonds (glissements de terrains, éboulements, ...), à l'amplification des phénomènes érosifs (Ilunga, 1989; Tréfois *et al.*, 2002; Sadiki, 2009).

En outre, la présence dans les profils topographiques des lits argileux rouges souvent imperméables, constituant de véritables plans de faiblesse par le nombre élevé de nappes aquifères et de sources qu'ils piègent, passe aussi pour un facteur de grande instabilité desdits versants. Cette topographie caractérisée par des versants pentus, ne pose pas seulement un problème d'occupation spatiale, mais aussi et surtout un problème de distance.

Les travaux de Londa *et al.* (1989) en rapport avec l'étude des profils d'altération des zones d'Ibanda, Kadutu et Bagira, signale dans son sous-sol la composition des coulées successives de basalte qui sont séparées par des phases d'altération plus ou moins intenses, présentant ainsi des structures qui contiennent des lits argileux rouges, recuits dans leur partie supérieure.

En coupe verticale, Bukavu présente un faciès géologique formé par une alternance de coulées entrecoupées par des épisodes plus ou moins intenses d'altération dont les sols produits sont recuits par la lave subséquente pour donner les « paléosols » rouge-brique très caractéristiques. Les profils pédologiques à Bukavu se structurent comme suit:

- Un sol (B¹), généralement rougeâtre à rouge-brunâtre, affleurant surtout sur Muhungu, Ndendere, Pageco, Saio et une partie de la colline Bugabo, bref sur le « plateau » Muhungu-Bugabo;
- Un sol (B²), généralement rouge-brunâtre, affleurant à Kadutu;
- Un sol (C¹), noirâtre ou même rougeâtre avec d'importants niveaux, affleurant souvent sous les faciès précédents et ne semblant se voir que sur des falaises ou des

endroits proches de celles-ci, comme par exemple dans le quartier Cliniques, Hôpital général, Camp Zaïre;

- Un faciès(C²), altéré de la roche mère et friable, généralement gris-blanchâtre, constituant un faciès qui se rencontre sous les autres faciès ou sur les cumulo-dômes trachytiques;
- La roche mère.

Dans le domaine climatique, 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 (Figure 2). De par sa latitude (2° 30' sud), 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, régime pluviométrique à distribution bimodale avec 2 maximums équinoxiaux, etc. Mais, sous l'influence de l'altitude (moins de 6 °C tous les 1000 m en moyenne), les températures moyennes annuelles s'adoucissent (environ 20 °C). Les hauteurs pluviométriques sont principalement en lien avec des influences océaniques (anticyclones de Mascareignes, alizés du sud-est en provenance de l'océan indien) que des apports convectifs comme c'est le cas dans le climat équatorial proprement dit. Son climat, en l'absence des types intermédiaires dans certaines classifications, s'identifie au type subéquatorial (équatorial d'altitude). A la classification de Köppen, il est de type Aw (type tropical d'altitude à un long hivernage).

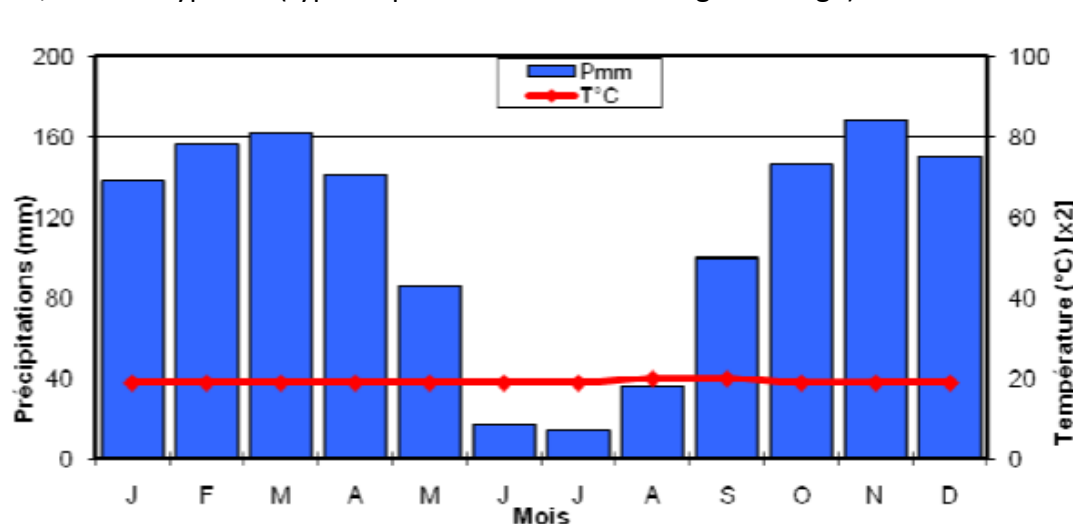


Figure 2. Diagramme ombrothermique de Bukavu entre 1930 et 1980(Source: Rudloff, 1981)

Les travaux sur les indices mensuels d'aridité de Martonne ($IA = \text{pluviosité en mm} / (\text{température} + 10)$) calculés sur la période de 1955-1977 par Ilunga (1977) ont conduit aux conclusions d'après lesquelles 3 mois (juin, juillet et août) sont retenus comme secs ($IA < 20$; 1,2 jours de pluie sur 10) et 9 mois pluvieux, dont 2 (mai et septembre) moins humides ($20 < IA < 40$; 4,7 jours de pluie sur 10) et 7 très humides ($IA > 40$; 6,4 à 8 jours de pluie

sur 10), notamment janvier, février, mars, avril et octobre, novembre et décembre, et que les stratus, les altostratus ainsi que les nimbostratus générateurs de pluies moyennes sont rares à Bukavu, tandis que les cumulus et cumulostratus générateurs d'averses dominent. Cela traduit le caractère d'averse tropicale. Pendant les mois secs, l'évapotranspiration potentielle est nettement supérieure au module pluviométrique mensuel, ce qui a pour effet de diminuer fortement le débit des sources.

De l'analyse des travaux de Muhigwa (1999) consacrés aux mesures pluvio-thermiques de 40 ans dans la ville de Bukavu, Août est devenu un mois humide et les mois très humides ont changé l'ordre de primauté: Novembre, Décembre, Octobre, Février, Mars, Janvier, Avril. La littérature indique que les totaux pluviométriques annuels sont compris entre 1000 et 1700 mm, avec 80 % des proportions se situant entre 1200 et 1500 mm. L'amplitude thermique annuelle reste très faible (2,2 °C), les moyennes thermiques mensuelles avoisinant 20 °C et l'excluant de la zone chaude à cause de la fraîcheur.

Tenant compte de l'indice moyen d'aridité annuel, la formation végétale correspondante serait dominée par une végétation forestière, dont les reliques sont des espèces rencontrées à travers la ville, entre autres *Albizia gummifera*, *Musanga leo-ererae*, *Acalypha spp*, *Bridelia micratha*, *Millittia dura*, etc. En parallèle, pour palier à la menace d'érosion, les colonisateurs et, plus tard, les autochtones ont introduit certaines espèces exotiques telles que *Prunus spp.*, *Cupressus spp.*, *Eucalyptus spp.* des arbres fruitiers. En guise d'illustration, *Citrus spp.*, des plantes ornementales telles que *Spathodea campamilata*, *Callistemon specious*, *Markhamia lutea*, *Adenanthera paronina*, *Parkia filiwidea*, etc. Toutefois, on ne peut pas ignorer qu'à côté de la végétation ci-haut citée, il y a un tapis de plantes herbacées et parfois ligneuses (plantes rudrales et messicoles) présentes sur toute l'étendue de la ville. Aussi, la ville abrite *Cyperus latifolius* POIRET (*Poaceae*) ainsi que quelques herbes et des bananiers (*Musa spp.*) le long du canal des exutoires et rivières, principalement *Phragmites mauritanus* KUNTH (*Poaceae*) et *Pennisetum trachyphyllum* PILGER (*Poaceae*). Outre ces espèces qui couvrent cette surface, on peut encore trouver *Hydrocotyle mannii* L., des espèces du genre *Discorea*, *Eleusina indica*, *Echinochloa colona*, *Commelina diffusa*, *Tithonia diversifolia*, *Sida acuta*, *Digitalia barbata*, *Centella asiatica* (L.) URBAN, *Spilanthes mauritiana*, *Polygonum nepalens*, *Polygonum salicifolium*, *Rumex usambariensis* JACQ (*Polygonaceae*). On peut aussi citer quelques arbustes tels que *Solanum spp.* *Vernonia spp.* *Acanthus pubescens*.

Cependant, depuis environ deux décennies, la ville est en proie à un afflux important de population, causé par l'instabilité politique qui sévit dans la région et déversé dans la ville en deux phases: d'abord l'afflux des réfugiés rwandais après le génocide dans leur pays (1994), et l'exode rural chronique, en réponse à l'insécurité entretenue par des factions rebelles 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, l'occupation anarchique des sols, et, à cet effet, augmenter les risques pour la population déjà vulnérable.

2.2 Population et urbanisation

La ville de Bukavu (Figure 3), chef-lieu de la province du Sud-Kivu, existe depuis déjà cent ans et comprend 3 communes, notamment la commune de Bagira formée de 3 quartiers (Kasha, Lumumba et Nyakavogo), celle d'Ibando composée de 3 quartiers (Ndendere, Nyalukemba et Panzi), et celle de Kadutu qui comprend 7 quartiers (Cimpunda, Kajangu, Kasali, Mosala, Nkafu, Nyakalisa et Nyamugo).

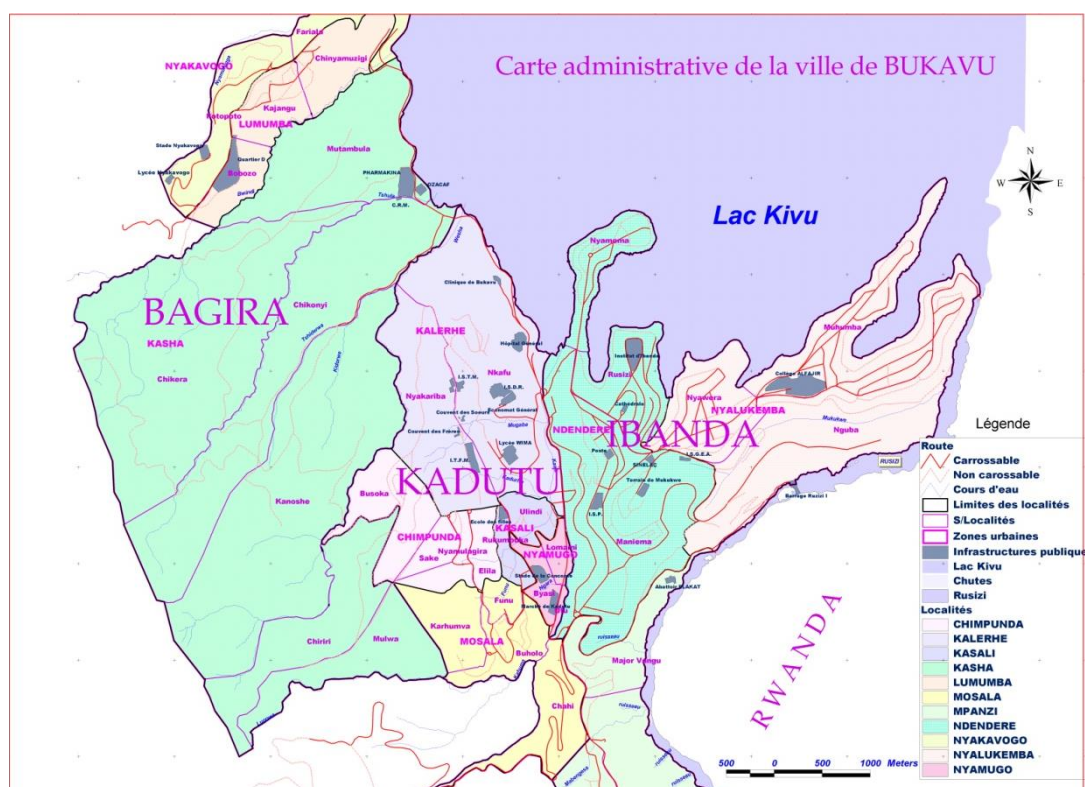


Figure 3. Carte administrative de Bukavu

Ibando abrite l'ancienne ville des européens et constitue, de ce fait, la commune de haut standing; les villas parsèment les flancs de ses collines et offrent une vue panoramique sur le lac. Mais derrière cette opulence, se cache l'autre visage d'Ibando qui est l'image de la pauvreté qui caractérise les néocitadins en quête d'habitation et qui peuplent un certain nombre de ses nouvelles cellules administratives, entre autres Mukukwe, Keredi, Gihamba, etc. Ces nouveaux quartiers sont très peuplés, sans voirie, sans ouvrages d'assainissement et avec une bonne partie d'habitations dépourvues de réseau de distribution d'eau potable. Ainsi, Ibando présente une image hybride où la pratique de morcellement de parcelles favorise des constructions qui ne répondent pas aux normes et l'intrusion des maisons de fortunes, privant la commune de sa beauté d'antan.

Les communes de Bagira et de Kadutu ont été, à l'origine, créées pour les indigènes. Les habitations sont soit en pavillon, soit à l'étage. Kadutu est une commune sur-densifiée et connaît une insuffisance remarquable d'infrastructures de base. Elle abrite le plus grand marché de la ville et la plupart des habitations ne sont pas accessibles par voitures et relèvent des bas standing de vie (Nyamugo, Carrière, etc.). Bagira peut être considéré comme la commune la plus assainie de la ville; on y trouve des collecteurs qui drainent les eaux usées des habitations et les déversent principalement dans la rivière Nyamuhinga qui forme la limite de la ville avec le territoire de Kabare. Les habitations sont de type pavillonnaire ou à étage, et il s'agit souvent des logements jointifs en blocs de 2 ou 4 maisons et en bandes.

Sa population évolue de manière exponentielle. En fait, sur une période d'un peu plus de 100 ans (1909-2012), les effectifs de la population urbaine de Bukavu sont passés de 114 à 800574 habitants, soit près de 6000 fois la population initiale. Ce calcul a l'avantage de fournir à titre indicatif certaines valeurs-repères du peuplement de la ville de Bukavu (Tableau 2), mais n'illustre pas exactement son déroulement dans le temps.

Tableau 2. Evolution de la densité de Bukavu et de l'espace disponible de 1909 à 2009

N°	Année	Densité (habitants au km ²)	m ² disponibles par citadin
1	1909	02,64	378 787,88
2	1959	1488,74	671,71
3	2009	15474,47	64,62

Au rythme actuel de 28000 à 30000 nouveaux citadins par an, les récentes projections démographiques prévoient son premier million d'habitants entre 2020 et 2022 (Institut Provinciale des statistiques, 2012). Cela prendrait ainsi plus de 110 ans mais on peut retenir qu'il a fallu à cette population: 16 ans pour passer de la centaine au millier, 19 ans du millier à la dizaine de milliers, 22 ans de la dizaine à la centaine de milliers, et 40 ans pour franchir la barre du demi-million d'âmes. On peut dire, sans risque de se tromper, que la population urbaine de Bukavu, de 1909 à 2009, s'est dédoublée tous les 7 à 8 ans et a connu une croissance exponentielle. La croissance de cette population a une répercussion sur l'évolution de la densité urbaine qui se répartit, de par les données de l'Institut Provincial des Statistiques (2012) comme suit: 11269 habitants par km² (Bagira), 20716 habitants par km² (Ibanda), et 42818 habitants par km² (Kadutu). Actuellement, la ville de Bukavu est saturée et, faute de mieux, la population colonise même le biotope physiquement instable pour installer des logis. Fort de ce constat, la comparaison entre les surfaces bâties et les pentes entre 1954 et 2001 montre l'évolution de l'augmentation des constructions sur différentes pentes trouvées à travers la ville (Figure 4 et Tableau 3).

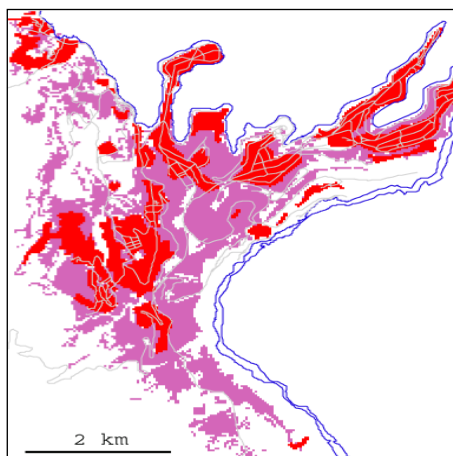


Figure 4. Délimitation des zones bâties de Bukavu (en rouge 1954, en violet 2001).

Source: laboratoire SURFACES de l'Université de Liège (Trefois et al., 2002).

Tableau 3. Evolution des surfaces bâties en fonction de l'inclinaison des pentes entre 1954 et 2001

Inclinaison	Situation 1954		Situation 2001		Croissance	
(degré)	(en ha)	(en %)	(en ha)	(en %)	(en ha)	(en %)
0 - 2	62	17	114	13	51	10
3 - 5	75	20	130	15	54	11
6 - 8	94	25	166	19	73	14
9 - 10	48	13	105	12	58	11
11 - 15	71	19	205	23	134	26
16 - 20	18	5	109	12	91	18
> 20	8	2	59	7	51	10
Total	375	100	888	100	512	100

L'augmentation est en hausse même sur de fortes pentes, ce qui indique la précarité de l'habitat dans la ville. Ainsi, le mauvais aménagement et l'anarchie du foncier contribuent à fragiliser le cadre physique de Bukavu, et provoquer des catastrophes comme les inondations dans les basses terres, les érosions, les éboulements sur des fortes pentes, les glissements de terrain, et dont les résultats sont les pertes en vies humaines et les dégâts matériels auxquels la ville assiste habituellement en saison de pluie.

2.3 Ressources en eau et accès à l'eau potable

2.3.1 Ressources en eau

La ville de Bukavu est caractérisée par un intense réseau en eau de surface (ESU) et en eau souterraine (ESO). Le potentiel hydrogéologique est richement représenté dans la ville, à travers des sources d'eau retrouvées dans les cirques d'affaissement ou tout du moins dans les endroits affectés par des instabilités diverses. Les sources retrouvées dans les quartiers Mukukwe, Kazaroho, Gihamba, Funu, Bugabo et Nyakavogo en constituent une illustration.

On peut abonder dans le même sens que Tréfois *et al.* (2002), en admettant que la plupart des cours d'eaux de la ville voient leur débit se renforcer par les eaux en provenance de ces cirques: Kaduru, Mukukwe, Gihamba, etc. Ce potentiel hydrogéologique s'avère sous exploité; beaucoup de sources captées sont utilisées sans se soucier de la potabilité de l'eau et au grand dam de la santé des populations. Cette façon de procéder expose les ESO aux risques de contamination provenant des sanitaires qui jouxtent les lieux de captage d'eau. Il en résulte des cas de diarrhées et d'autres maladies endémiques liées à l'eau, sévissant de manière endémique ou épidémique dans ces différents quartiers. C'est le cas de la zone de santé urbaine de Kadutu où le choléra est endémique. Sur le plan hydrographique, Bukavu appartient à deux bassins, notamment le bassin du lac et celui de la Ruzizi, Tréfois *et al.* (2007). Les rivières du domaine de lac Kivu semblent s'écouler initialement vers le nord-est avant de changer de direction (la Kahwa par exemple, qui vire vers le sud-est avant la chute sur l'escarpement de Buholo carrière; la Nyakaliba qui tourne vers l'est à la descente de l'escarpement de Karhale). Par contre, celles du bassin de la Ruzizi se dirigent initialement vers l'est et empruntent ensuite, pour certains, un parcours en zigzag (la Lubemba).

Le bassin de Bukavu (l'un des cinq bassins qui forment le lac Kivu) comprend 5 baies (baies de Bukavu, Ndendere, Nyofu, Nyalukemba et de Nguba) à Bukavu (Kaningini *et al.*, 1999). La baie de Bukavu est la plus importante car elle draine les eaux usées de la plus grande partie de la ville. Les quatre rivières (Bwindi, Tshula, Wesha et Kahwa) ayant fait l'objet de nos recherches, appartiennent à ce bassin versant (Figure 5).

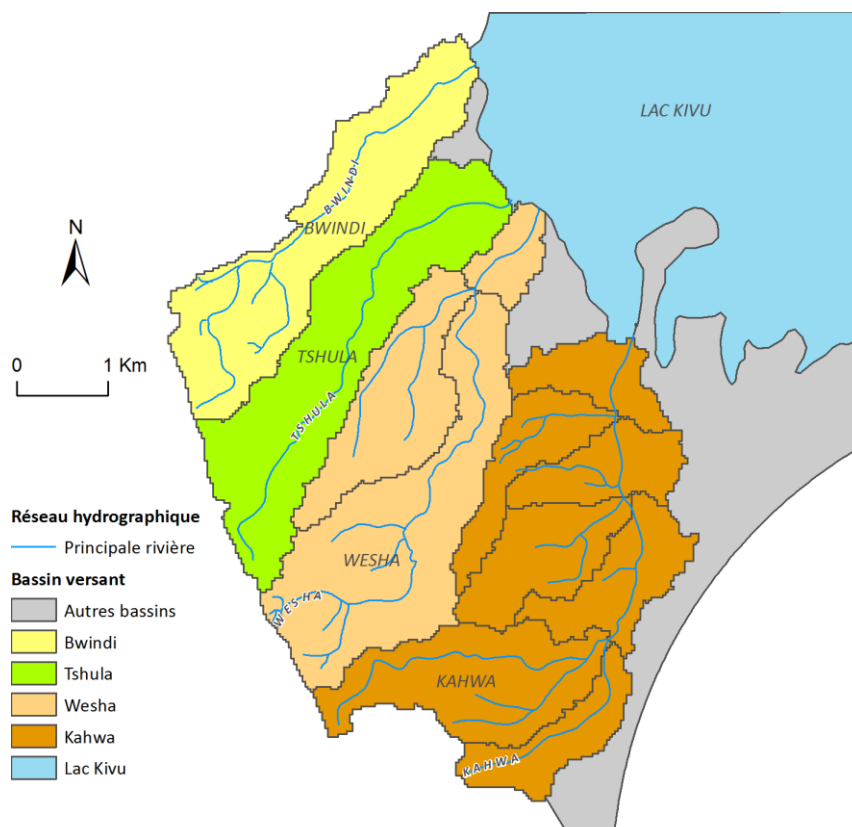


Figure 5. Bassins hydrographiques de 4 cours d'eau de Bukavu

2.3.2 Accès à l'eau potable

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 et traitement d'eau pourraient expliquer cette situation. En outre, la topographie de la ville dominée par des escarpements, 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. Sa production totale est variable et se fait en fonction des saisons: en saison pluvieuse, elle produit environ 27000 m³ par jour, dont 40% (soit 10800 m³) se perdent avant d'arriver chez les consommateurs, tandis qu'en saison sèche, elle se situe autour de 22000 m³ par jour (dont environ 8800 m³ sont perdus). Ce faible rendement ne permet pas d'approvisionner tout le réseau et conduit à des ruptures intempestives d'approvisionnement (appelées communément délestages), qui s'aggravent en saison sèche.

De 22000 abonnés répertoriés par la REGIDESO, seuls 15000 sont facturés mensuellement alors que 7000 sont non desservis. De la production destinée à la commercialisation, l'Etat congolais (les services étatiques, les casernes militaires, etc.) retient 30 % et ne paie pas, et le reste étant vendu à crédit aux abonnés, dont la moitié seulement est recouvrée. Ces comportements mettent à mal la REGIDESO qui n'arrive pas à s'approvisionner en tous les consommables nécessaires à la production de cette denrée. A l'heure actuelle, l'opinion publique trouve que la REGIDESO devra revoir un certain nombre de défis : le prix du raccordement semble être excessif (les frais évalués à 200\$ pour le raccordement en sus d'achat des matériels nécessaires y afférents), la pénurie ou la non fonctionnalité des compteurs (rendant la facturation forfaitaire basée sur l'importance sociale du quartier et du ménage), les services (quantité et qualité) en dessous de la hauteur des attentes des populations amenées à se résigner d'honorer les tarifs jugés fantaisistes, etc. Aussi, le réseau de distribution utilise un système gravitaire; d'où la nécessité des stations de relevage pour servir les zones d'altitude.

2.4 Accès à l'assainissement

2.4.1 Principaux acteurs et gestion des eaux résiduaires

Quoique maigres et dubitatifs, les travaux d'assainissement sont accomplis à Bukavu par les acteurs qui appartiennent aux structures publiques et privées. La mairie de Bukavu et l'office des voiries et drainage (OVD) sont dotés des moyens matériels plus que les autres structures publiques, dont l'Inspection Provinciale de la santé (IPS/Bukavu), la coordination provinciale de l'environnement et le comité provincial de l'eau et assainissement. Le secteur privé est représenté par des organisations non gouvernementales locales et un petit nombre d'établissements à caractère familial qui exploitent, tant mieux que mal, ce vaste domaine

d'assainissent. Toutes ces structures publiques ou privées collaborent généralement avec les structures internationales (Unicef, OMS, PNUD, OCHA, etc.) rassemblées au sein d'une structure dénommée *cluster wash* et qui leur pourvoient des moyens financiers de manière plus ou moins régulière.

A Bukavu, à l'instar des villes de la RDC, la gestion des eaux résiduaires préoccupe principalement la mairie et l'OVD (institution technique publique à caractère non commercial et rattaché au ministère des infrastructures, travaux publics et reconstruction). Outre le drainage, l'OVD s'occupe également des voiries urbaines. Cependant, la plupart de ses travaux se réalisent dans le cadre de la voirie, 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. Aussi, les taux d'égouttage et de collecte sont très faibles. En outre, le réseau d'assainissement n'est pas doté d'un système de traitement d'effluents, ce qui favorise l'installation de divers risques (endémicité et épidémicité des maladies des mains sales, mortalité et morbidité élevées, etc.). Les quelques travaux d'assainissement réalisés, consistent à curer irrégulièrement les collecteurs et caniveaux existants, à procéder à quelques réparations si possible, à placer des buses ou construire aléatoirement des drains pour évacuer les borbiers, à évacuer des ordures charriés par les pluies, au bouchage des nids de poule, etc. Globalement, il s'agit des interventions tendant timidement à plaire aux autorités politico-administratives pour leurs campagnes politiques, à donner des réponses curatives à ce fléau en lieu et place de répondre aux réels problèmes auxquels les populations sont confrontés dans leur quotidien, devant être inscrits dans un schéma d'assainissement propre à la ville et basé sur la recherche de solutions tant curatives que préventives.

2.4.2 Maladies liées à l'eau à Bukavu

A Bukavu, ces maladies constituent une réelle préoccupation. En effet, les structures sanitaires, généralement dépendantes des appuis ponctuels internationaux, n'arrivent pas à assurer la réduction significative de morbidité et de mortalité y relatives; les causes (pénurie en assainissement de base et accès limité à l'eau potable) demeurant inchangées. A titre illustratif, l'Inspection Provinciale de la Santé (IPS) a recensé en 2011 plusieurs cas de ces maladies dans la ville de Bukavu (Tableau 4).

Tableau 4. Mortalité et fréquences des maladies liées à l'eau à Bukavu en 2011 (IPS)

Maladies	Fréquences	Décès	Décès (⁰ / ₀₀ des cas)
Choléra	6832	36	5,2
Schistosomiase	38336	35	0,9
Fièvre typhoïde	7927	17	2,1
Diarrhée sanglante	12273	5	0,4
Diarrhée simple	126962	303	2,4
Amibiase	38336	35	0,9

Dans la même optique, HPGRB, un important hôpital de Bukavu, a présenté le relevé de morbidité des cas reçus à son sein en 2012, dont quelques éléments sont repris dans le Tableau 5.

Tableau 5. Morbidité à HPGRB au cours de 2011 et 2012

Maladies	Cas 2012	Décès 2012	Cas 2011	Décès 2011	Variation (%)
Amibiase	81	0	72	0	+13
Choléra	887	5	839	16	+6
Diarrhées simples	137	11	88	8	+56
Fièvre typhoïde	18	4	12	2	+50
Paludisme	814	28	1330	32	-39

L'observation de ces valeurs montre l'impact des risques sanitaires qu'encourent les populations de Bukavu qui se trouvent soumises à un accès limité à l'eau et au manque de structures adéquates d'assainissement. Hormis le paludisme dont la régression (-39%) serait probablement liée à l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticides vivement recommandées aux femmes en gestations et aux enfants et dont les campagnes constituent le leitmotiv des structures onusiennes (UNICEF, OMS, etc.), les autres maladies ont affiché une nette avancée. En effet, la progression est manifeste en 2012 par rapport en 2011 pour les diarrhées simples (+56%), la fièvre typhoïde (+50%), amibiase (+13%) et le choléra (+6%). L'avénement et le développement des mutuelles de santé dans la ville, grâce à une coopération dynamique avec les structures chrétiennes étrangères, notamment la mutualité chrétienne belge (agences de Tournai, Mons, Mouscron, etc.), ont incité beaucoup de familles à adhérer à ces organisations sociales; cela a permis bien des ménages d'accéder aux soins hospitaliers, expliquant ainsi la croissance des cas observés en 2012 (Tableau II.4). Notons que Bukavu et tout l'est congolais sont identifiés comme les sanctuaires et zones d'ancrage du choléra (IPS, 2012).

2.4.3 Cadre sociotechnique lié à l'eau

En RDC, très peu de personnels compétents dans le domaine d'EHA (Eau, Hygiène et Assainissement) sont formés par les hautes écoles et universités. A Bukavu, l'Institut Supérieur des Techniques Médicales (ISTM) a ouvert, il y a moins de cinq ans, une filière de formation des agents sanitaires. Cette filière attire relativement peu de candidats du fait du manque de culture et de connaissance des interventions d'ordre sanitaire. La thématique de l'assainissement n'est pas encore bien comprise par les forces vives de la ville, qui la limitent principalement à la collecte des déchets solides et leur évacuation du lieu de production ou de collecte. Les aspects relatifs au traitement et aux effluents sont en général ignorés. De ce fait, les tâches de gestion sont souvent accomplies par des personnes incompetentes,

limitant par conséquent la satisfaction de la communauté bénéficiaire ou la durabilité des ouvrages. A cette pénurie de cadres, on peut aussi ajouter le clientélisme politique (passation de marché) et l'absence de suivi-évaluation pour pérenniser les actions en EHA tel que demandé par les bailleurs généralement internationaux qui en sont les grands pourvoyeurs.

Conclusion

Ce chapitre s'est consacré à la description des aspects tant physiques que socioéconomiques qui caractérisent l'écosystème urbain de Bukavu. Le problème foncier se présente avec beaucoup d'acuité dans la ville. L'absence des structures d'accueil et de planification spatiale amène au désordre qui caractérise le foncier à Bukavu. Les secteurs secondaire et, surtout, tertiaire sont en pleine croissance. De par le développement effectué, il ressort que les rivières de Bukavu font état de fortes pressions causées par une urbanisation anarchique et un exode rural de grande envergure. Ces rivières constituent à cet effet, un cadre idéal et propice à une étude portant sur la gestion des ressources en eau de surface dans les pays en développement.

Références bibliographiques

- 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, 59p.
- De Saint Moulin L. (1976). Atlas des collectivités du Zaïre. Kinshasa.
- Halbwachs M., Sabroux J.C., Grangeon J., Kayser G., Tochon-Danguy J.C., Felix A., Béard J.C., Villevieille A., Vitter G., Richon P., Wüest A., Hell J. (2004). Degassing the "killer lakes" Nyos and Monoun, Cameroon. *EOS* 85, 281-288.
- Ilunga L. (1977). L'érosion dans la ville de Bukavu. *Antennes*, revue du CERUKI, cinquième année, n° 2, pp 277-299.
- Ilunga L. (1989). Problèmes géologiques d'aménagement dans la zone de Kadutu (ville de Bukavu, Zaïre). *Cahiers du CERUKI*, nouvelle série, n° 24, pp 40-51.
- Ilunga L. (1991). Morphologie, volcanisme et sédimentation dans le rift du Sud-Kivu. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, vol. 27, pp 209-228.
- Isumbisho, M., Kaningini, M., Descy, J.P., Baras, E., 2004. Seasonal and diel variations in diet of the young stages of the fish *Limnothrissa miodon* in Lake Kivu, Eastern Africa. *J. Trop. Ecol.* 20, 73-83.
- Londa L., Birembano B. et Ilunga L. (1989). Profils d'altération et lits argileux rouges des basaltes de Bukavu. *Cahiers du CERUKI*, nouvelle série, n° 24, pp 77-101.
- Masilya M.P., Darchambeau F., Isumbisho M., Descy J.P. (2011). Diet overlap between the newly introduced *Lamprichtys tanganyicanus* and the Tanganyika sardine in Lake Kivu, Eastern Africa. *Hydrobiologia* 675, 75-80.

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*.

Muhigwa J. (1999). Analyse des perturbations dans le régime pluviométrique du Sud Kivu durant les 50 dernières années. *Mus. roy. Afr. centr., Dépt. Géol. Min., Rapp. Ann. 1997 & 1998*, 9p.

Muvundja A.F., Wüest A., Isumbisho M., Kaningini M.B., Pasche N., Rita P. and Schmid M. (2014). Modelling Lake Kivu water level variations over the last seven decades. *Limnologia* 47, pp 21-33.

République Démocratique du Congo, Hôpital Général Provincial de Référence de Bukavu (2012). Rapport des activités annuelles.

République Démocratique du Congo, Inspection Provinciale de la Santé (2012). Rapport annuel des activités dans la ville de Bukavu.

Rudloff W. (1981). *World-Climates, with tables of Climatic Data and Practical Suggestions*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart.

Sadiki, N., 2009. Gestion des risques naturels à Bukavu, Sud-Kivu/ RD. Congo. Travail de Fin d'Etudes, Université de Liège, Inédit, 73 pages.

Schmid M., Halbwachs M., Wehrli B. and Wüest A. (2005). Weak mixing in Lake Kivu: New insights indicate increasing risk of uncontrolled gas eruption. *G³*, Volume 6, Number 7, Q07009, doi:10.1029/2004GC000892, ISSN: 1525-2027.

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

Tréfois P., Moeyersons J., Lavreau J., Alimasi D., Badriyo I., Mitima B., Mundala M., Munganga D., Nahimana L. (2002). Rapport des travaux sur la géologie urbaine de Bukavu : Interaction entre la stabilité du sol et la pression démographique. MRAC, Inédit (Rapport final 2002 : projet sur la géologie urbaine de Bukavu).

Tréfois P., Moeyersons J., Lavreau J., Alimasi D., Badriyo I., Mitima B., Mundala M., Muganda D.O., Nahimana L., 2007. Geomorphology and urban geology of Bukavu (DR Congo) : interaction between slope instability and human settlement. In: Teeuw RM (ed) *Mapping hazardous terrain using remote sensing*. Geological Society, London, pp 65-75 special publication 283.

CHAPITRE III. GENERALITES SUR L'ASSAINISSEMENT LIQUIDE

3.1 Caractérisation des eaux usées: domestiques et industrielles

L'assainissement est une démarche qui englobe la collecte, le transport et le traitement des effluents urbains. Ceux-ci sont formés des eaux résiduaires ou eaux usées, des eaux pluviales ou "eaux excédentaires de temps de pluie", et des eaux parasites ou eaux souterraines s'introduisant dans les réseaux non étanches (DEGREMONT, 2005).

De façon générale, la classification des eaux usées se fait selon leur provenance et leurs caractéristiques, distinguant deux catégories: les eaux usées urbaines, appelées aussi eaux résiduaires urbaines (ERU) et les eaux usées industrielles ou eaux résiduaires industrielles (ERI).

3.1.1 Eaux usées domestiques

3.1.1.1 Origine des eaux usées domestiques

Dans le quotidien des ménages, les activités normales génèrent des sous-produits, notamment les eaux usées domestiques. D'après la littérature (Vasel, 1992; Eriksson *et al.*, 2002), les eaux usées domestiques sont réparties en deux catégories: les eaux usées ménagères (ou eaux grises) et les eaux vannes appelées aussi eaux noires ou eaux fécales. La première catégorie se rapporte à l'ensemble des eaux qui proviennent des baignoires, douches, cuisines, éviers, lavabos, vaisselle (lave-vaisselle) ou lessive (ou machine à laver) et chargées en détergents, solvants, graisses et débris organiques, tandis que la deuxième catégorie (ou eaux noires) comprend les eaux issues des WC (contenant des excréments, urines et papiers de toilette) et chargées en matières organiques et azotées.

A ceux-ci s'ajoutent les rejets de petites industries, commerces et artisanat, ainsi que les eaux de ruissellement susceptibles de lessiver les toits et les bitumes chargées en hydrocarbures et graisses.

3.1.1.2 Volume des eaux usées domestiques

Le volume des eaux usées rejeté par une habitation n'est pas soumis à une constance au cours du temps. En d'autre terme, le profil du débit des eaux usées d'une habitation est une courbe de succession de variations de volumes déversés au cours du temps. Ceci est en lien direct avec la consommation de l'eau, laquelle est corrélée aux activités qui se déroulent dans ces habitations. C'est dans ce contexte que DEGREMONT (2005) stipule que le volume rejeté des eaux usées par habitant et par jour, varie avec la taille de l'agglomération, des habitudes de vie, et dépend énormément de l'apport des secteurs secondaire et tertiaire. De Cuyper et Loutz (1992) abondent dans le même sens, en précisant que les chiffres des volumes rejetés sont divers mais il en découle le même profil des variations des débits d'eau

consommée en fonction du temps. Ce qui amène à admettre que le volume d'eau consommé par jour et par individu est variable selon les saisons, les jours de la semaine et les heures de la journée. Au courant d'une journée (Figure 6), le profil de la consommation de l'eau peut connaître des pics importants, généralement le matin et le soir tandis que la consommation peut s'avérer nulle à d'autres moments comme la nuit. Ce genre de profil correspond à de petites localités, alors que dans les grandes agglomérations, on en constate seulement un seul pic, car il y a un mélange d'eaux issues des habitations à divers moments.

A ce sujet, la littérature renseigne que la moyenne de volumes journaliers pour les villes européennes correspondent à une consommation de 150 l par habitant et par jour. Ainsi, lorsque la consommation journalière d'eau est supérieure ou inférieure à cette valeur, les eaux usées se révèlent plus diluées ou plus concentrées étant donné que la quantité de souillures rapportée au nombre d'habitants, varie peu avec cette consommation.

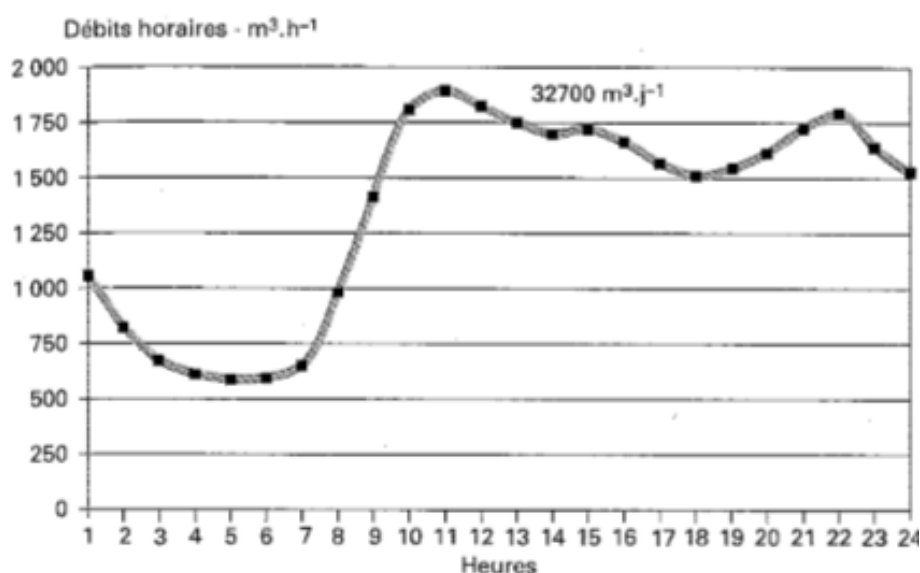


Figure 6. Profil des débits horaires dans une agglomération (DEGREMONT, 2005)

Dans la plupart des cas, la dilution accroît la proportion des matières non séparables par décantation et des matières dissoutes, comparativement aux matières que l'on peut retenir par décantation. Diverses méthodes interviennent pour estimer la charge et le débit des ERU, lesquelles reposent sur la connaissance des courbes d'évolution démographiques passées et futures, des phénomènes sociologique et des plans de secteur (Eckenfelder, 1982).

3.1.1.3 Qualité des eaux usées domestiques

Au sein des écosystèmes aquatiques, la charge polluante peut être sous forme solide, particulaire ou colloïdale, en suspension ou en émulsion (cas des matières grasses) dans l'eau, ou sous forme dissoute (DEGREMONT, 1989). Les paramètres qui interviennent généralement dans la caractérisation des eaux usées sont variés et relèvent des types de

pollution dont il s'agit. De façon générale, on peut mesurer la pollution, organique et/ou inorganique, à partir de paramètres dits globaux comme la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO₅), le carbone organique total (COT), les acides gras volatils (AGV), les matières en suspension (MES) ou à partir des paramètres spécifiques.

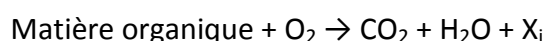
D'après DEGREMONT (1989 et 2005) et Bourrier *et al.* (2005), les paramètres globaux se rapportent aux mesures dont le résultat n'exprime pas une concentration en une substance chimique organique bien définie mais concerne une caractéristique commune à un grand nombre de substances. En dépit du fait qu'il est vraisemblablement difficile de relier un paramètre global à une mesure de toxicité et/ou de cytotoxicité ou d'effet cancérigène et/ou mutagène et d'en définir les concentrations limites, l'optimisation de l'abattement des pollutions peut correctement et facilement se réaliser par leur suivi dans les stations d'épuration.

3.1.1.3.1 Paramètres de pollution organique/inorganique

Comme beaucoup d'autres paramètres spécifiques, les paramètres globaux interviennent dans la caractérisation des pollutions; parmi ces derniers, on peut mentionner quelques-uns:

- La DCO (demande chimique en oxygène)

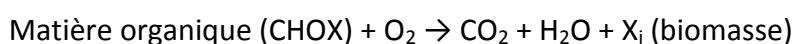
La demande chimique en oxygène est la concentration, exprimée en mg/l, d'oxygène, équivalente à la quantité d'un oxydant chimique consommée par les matières (principalement organiques) dissoutes et en suspension lorsque on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies. Le principe de l'oxydation est représenté par la relation suivante:



La somme de toutes les molécules présentes dans les eaux usées est caractérisée par leur composition moyenne moléculaire dont la concentration peut être mesurée par l'oxydation chimique utilisant le dichromate de potassium. En effet, la détermination de la DCO se fait par oxydation avec le dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) dans une solution d'acide sulfurique portée à l'ébullition à reflux pendant 2 heures en présence d'ions Ag⁺(Ag₂SO₄) comme catalyseurs d'oxydation et d'ions Hg²⁺ (HgSO₄) permettant de complexer les ions chlorures. Sous telles conditions, 95 à 97 % des composés organiques sont oxydés. Ainsi, la norme NT T 90 101 conçoit la DCO comme une mesure correspondant à la quantité d'oxygène du dichromate à chaud de potassium consommée, et dont le processus chimique fait appel à la formulation K₂Cr₂O₇/H⁺ / AgSO₄ / HgSO₄. Lors de l'utilisation de solutions commerciales préparées, il est indiqué de vérifier la quantité de Cl susceptible d'être «masquée».

D'autres oxydants (KMnO_4/H^+ ou OH^- et $\text{Ce}(\text{SO}_4)_2/\text{H}^+$) peuvent être utilisés à cet effet. Parmi les applications les plus connues, on peut mentionner l'oxydation au permanganate de potassium (KMnO_4). Cependant, on peut souligner que leur reproductibilité n'est pas excellente et les conditions sont très variables. Jadis, dans les eaux de surface et les eaux usées, on utilisait le test "d'oxydabilité par le KMnO_4 ", à froid, en milieu sulfurique durant 4 heures. Il s'est avéré que le pouvoir oxydant était relativement faible et les consommations en oxygène plus proches de celles de la DBO que de celle de la DCO. En général, on admet que ce test donne des résultats de trois à six fois supérieurs à ceux des DBO; mais souvent le rapport sort largement de ces limites. De par les comportements épinglés, ce test est de plus en plus abandonné et remplacé, à juste titre, par la DCO. Aussi, on utilise un test plus sensible, dit "d'oxydabilité au permanganate", à chaud (à l'ébullition durant 10 minutes), qui se pratique en milieu alcalin (le plus fréquemment) ou en milieu acide. Il est intéressant pour les eaux peu riches en matières organiques, où la consommation d'oxygène n'excède pas, dans les conditions opératoires, 7 à 8 mg/l. Tel est le cas des eaux souterraines ou des eaux de distribution publique.

La mesure de DCO peut se réaliser sur un échantillon brut ou filtré ou décanté. Parmi les substances organiques présentes dans les effluents, il y en a qui subissent l'oxydation chimique (sucres, composés aliphatiques à chaîne ramifiée, noyaux aromatiques substitués), d'autres qui ne sont pas oxydées (benzène, pyridine et toluène), et d'autres encore qui peuvent être oxydés en présence de sulfate d'argent (acides gras à chaîne courte, alcools, acides aminés). On peut dire en d'autres termes que la DCO mesure le caractère réducteur de l'échantillon (Bourrier *et al.*, 2005), en particulier les matières organiques mais aussi toutes les matières réductrices susceptibles d'être oxydées dans les conditions du protocole. Aussi la DCO peut-elle s'obtenir par le calcul. En effet, de l'équation :



il s'en suit le rapport:

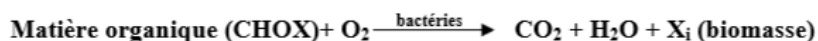
$$\text{DCO} = i_{\text{DCO,composé}} [\text{composé}]$$

Dans cette équation, $i_{\text{DCO,composé}}$ signifie équivalent-DCO (mg de O_2 /mg du composé). Cependant, étant donné que les chlorures interfèrent sur la DCO, du sulfate de mercure peut être ajouté pour les complexer.

- La DBO (demande biochimique en oxygène)

La demande biochimique en oxygène ou demande biochimique en oxygène après n jours (DBO_n), se définit comme la concentration en masse d'oxygène dissous consommé dans des conditions définies par l'oxydation biochimique des matières organiques et/ou inorganiques dans l'eau. La lettre "n" est la durée d'incubation et est généralement égal à 5 (7 dans plusieurs pays nordiques). C'est l'objet des normes suivantes: NBN EN 1899-1/2; ISO 5815-1/2 (1998). Elle concerne donc les composés biodégradables (les matières organiques) ou

biotransformables (N-NH₄, N-NO₂) en conditions aérobies. Cependant, l'oxydation biologique complète peut prendre 21 à 28 jours. Ainsi, on parlera de la DBO_{infinie} ou DBO₂₁ ou DBO₂₈. Par convention, on préfère remplacer DBO₂₁ par DBO₅ (5 jours d'incubation du milieu de culture) ou de fois DBO₇. A travers ces notions, on précise que la DBO est la demande biochimique en oxygène et non demande biologique en oxygène, et que le terme "biochimique" se réfère aux réactions biochimiques qui précèdent la biodégradation ou biotransformation de composés organiques et/ou inorganiques par une biomasse aérobie essentiellement bactérienne. Ainsi, le terme biochimique interprété comme biologique*chimique, peut faire référence aux oxydations strictement chimiques susceptibles d'avoir lieu dans le test DBO (sulfures, sulfites, Fe²⁺, etc.). De cette précision, on peut comprendre que la DBO correspond à la quantité d'oxygène consommée par voie chimique ou par les microorganismes pour dégrader par la voie biochimique une quantité de matières organiques. Le processus de la biodégradation des matières organiques par les microorganismes (bactéries) peut être régie, de manière simplifiée, par l'équation:



Cette équation traduit que les microorganismes (bactéries) transforment (décomposent) la matière organique par leur métabolisme (en consommant de l'oxygène), pour gagner de l'énergie (catabolisme), afin de fabriquer (produire) des substances nécessaires (minérales) à la composition des cellules (anabolisme). En dépit du fait que la DBO est un paramètre de mesure et partant de l'équation générale susmentionnée, on peut néanmoins lui proposer une relation:

$$\text{DBO} = i_{\text{DBO,composé}} [\text{composé}]$$

Dans cette relation, $i_{\text{DBO,composé}}$ indique l'équivalent DBO (mg de O₂/mg du composé). La DBO est associée aux composés biodégradables ou biotransformables; $i_{\text{DBO,composé}}$ doit être mesurée. En d'autre terme, la DBO représente principalement la matière organique biodégradable sous réserve du respect d'un certain nombre de conditions (NF T 90 101): mesure faite à 20 °C et à l'obscurité. Habituellement, la DBO est la valeur obtenue après cinq jours d'incubation, d'où la DBO₅. Par ailleurs, il est possible que la DBO puisse inclure une consommation associée à la nitrification ou la DBON (4.57 mgO₂/mg N-NO₃) (Figure 7).

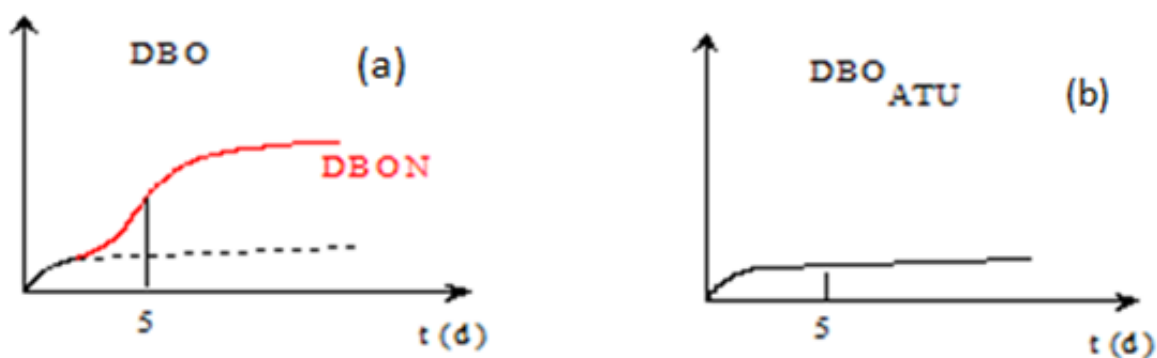


Figure 7. Courbes de la DBO associée à la nitrification (a) et sans nitrification (b)

Dans les eaux usées urbaines, la DBON intervient normalement au-delà de 5 jours. Mais en cas de nitrification partielle, elle peut intervenir dans moins de cinq jours, influençant ainsi la DBO. Ainsi, pour inhiber les bactéries nitrifiantes, on emploie l'ATU (allyl thiourée) comme inhibiteur de la nitrification. En outre, on peut utiliser des techniques relevant de deux types de procédés différents (dilution ou procédés respirométriques) pour déterminer des DBO_5 plus élevées. Pour ce, on utilise généralement les méthodes par dilutions. Mais les méthodes respirométriques sont également, de plus en plus, étudiées et préconisées étant donné qu'elles évitent un certain nombre de manipulations, en particulier les dilutions qui nuisent à la reproductibilité de la méthode.

Par ailleurs, il est souvent imputé à la DBO_5 un certain nombre de faiblesses, notamment son manque de reproductibilité. Mais, on ne peut pas écarter de vue qu'il s'agit d'un test biologique: l'action des bactéries varie selon les espèces de germes présents; les variations de pH issues parfois de l'action biologique elle-même, ne sont pas sans influence si le pH s'élève au-dessus de 8, ou s'abaisse au-dessous de 6; la salinité intervient, ou aussi certaines espèces peuvent requérir quelques éléments particuliers (en pratique, pouvant être ajoutés à l'eau de dilution), ou qu'elles redoutent certains toxiques qui pourraient être présents dans l'eau à étudier et dont la concentration varie d'une dilution à l'autre. En plus, on peut ajouter les interférences d'autres processus biologiques, dont l'action des bactéries nitrifiantes (ammonium en nitrates ou nitrites), l'action des protozoaires employant également de l'oxygène pour leur propre respiration. La conjugaison de ces motivations peut conduire au constat d'après lequel il n'est pas rare que la dispersion des mesures atteigne 10 à 15% autour de la valeur moyenne pour un même laboratoire, ou de 20 à 25% pour des laboratoires différents. La reproductibilité peut s'avérer bien meilleure pour certains effluents que pour d'autres et l'idéal est de tenir compte dans l'interprétation des résultats de DBO_5 de cette imprécision des mesures et aussi du délai séparant le prélèvement du début de l'analyse et de l'éventuelle présence de toxiques.

- Le COT (carbone organique total)

Le carbone est un constituant parfaitement défini des composés organiques et présent dans toutes les matières organiques. Le principe de ce paramètre consiste à mesurer le CO_2 après l'oxydation complète de l'échantillon, traduisant ainsi la teneur en carbone lié à la matière organique. Il s'agit d'une oxydation catalytique à 950°C ou de la photo(UV)-oxydation (persulfate).

Le carbone d'origine minérale ($\text{CO}_2, \text{HCO}_3^-, \text{CO}_3^{2-}$) est soit éliminé (acidification/dégazage) soit dosé séparément. Le CO_2 est le plus souvent dosé par spectrométrie IR.

$$\text{COT} = i_{\text{C,composé}} [\text{composé}]$$

- Les nutriments

Ils englobent principalement l'azote, le phosphore et leurs variantes respectives; ils forment une catégorie d'éléments intervenant dans l'eutrophisation. Une attention spéciale doit être accordée à l'azote et au phosphore ainsi qu'à leurs composés étant donné qu'ils sont considérés comme des fertilisants et, par conséquent, ils sont susceptibles de provoquer la croissance des cyanobactéries, microalgues et macrophytes dans les lacs, rivières et mers, ce qui conduit à une perturbation d'équilibre écologique et à de graves dommages aux écosystèmes (eutrophisation). Dans ce groupe, on rencontre l'azote total qui comprend l'ensemble de toutes les formes d'azote trouvées dans l'eau; l'azote Kjeldahl (azote organique et ammoniacal); l'azote nitreux (stade intermédiaire très fugace entre l'ammoniac et le nitrate); l'azote nitrique (la forme la plus avancée de l'oxydation de l'azote) intervient dans l'eutrophisation et la méthémoglobinémie chez le nourrisson (bébé bleu), détiendrait un pouvoir cancérigène. Dans les eaux usées domestiques, la concentration en Nk est de l'ordre de 20 à 25% de celle de la DBO_5 , et l'apport journalier de Nk est de l'ordre de 10 à 15 g/j par habitant (DEGREMONT, 2005).

En parallèle, on trouve aussi parmi les nutriments, le phosphore sous diverses formes dans l'échantillon. L'apport journalier du phosphore est de l'ordre de 2,5 à 3 g par habitant; il est dû essentiellement au métabolisme des individus et à l'usage des produits de lessive (détergents). A Dans le contexte de la promotion de l'assainissement, en vogue à certains pays, l'application de la législation sur les détergents conduit à la diminution progressive de cet apport. Etant responsable de l'accélération d'eutrophisation, la principale porte sortie de phosphore est la boue.

- Les matières en suspension (MES)

Les matières en suspension présentes dans l'eau constituent également un paramètre très important en domaine de pollution. Elles sont de nature organique ou minérale et peuvent subir deux sortes de mesures qui peuvent être utilisées : (i) Les matières en suspension (MES), représentant la masse de toutes les matières solides (non dissoutes) contenues dans

l'eau (méthode normalisée NF T EN 872), et (ii) les matières volatiles en suspension (MVS) qui se rapportent à la masse de matière organique présente dans les MES. La part minérale est déterminée par la différence entre les deux mesures (MES et MVS). Habituellement, la quantité de biomasse est assimilée à la mesure de MVS (bactéries, virus, protozoaires).

Dans l'environnement, les impacts des MES sont diverses: diminution de pénétration de la lumière dans l'eau, recouvrement des organismes aquatiques, apport de polluants toxiques insolubles et envasement des voies d'eau. A ces éléments, on peut ajouter la turbidité, la réduction de profondeur et de pénétration de la lumière. Ces impacts influent particulièrement, de manière négative, sur la capacité photosynthétique des producteurs primaires que sont les plantes aquatiques et les algues. On peut en déduire des impacts comme la diminution du nombre d'organismes aquatiques (poissons) qui se nourrissent des producteurs primaires, la sédimentation et la formation d'une couche sur les barrières de corail ou des bancs de coquillages pouvant amener à l'obstruction des branchies et d'appareil nourricier de nombreux animaux aquatiques. En outre, les sédiments ont un effet néfaste sur la qualité de l'eau en véhiculant des produits chimiques toxiques, organiques ou non, dans l'eau. Aussi, des composés insolubles et toxiques adhèrent à la surface des MES et lorsqu'elles pénètrent dans l'eau, les produits chimiques toxiques y pénètrent aussi.

- Les micropolluants

Il s'agit des minéraux (notamment les métaux lourds) ou organiques dont les hydrocarbures totaux (HCT) et aromatiques (HAP), PCB, pesticides, etc. Les nuisances causées par ces éléments, se manifestent essentiellement vis-à-vis des êtres vivants et en particulier l'homme. Elles sont de deux types: l'un organoleptique (l'eau polluée acquiert une odeur ou une saveur qui la rendent inconsommable); l'autre, toxique (l'eau polluée devient dangereuse, voire mortelle pour les êtres vivants qui y vivent ou ceux qui la boivent).

La mise en évidence de ce type de pollution se fait de deux façons: soit en recherchant spécifiquement le polluant soupçonné, soit en recherchant un effet toxique, sans vouloir, dans un premier temps, identifier la substance responsable.

- Le pH

Le potentiel d'hydrogène traduit l'acidité ou la basicité d'un effluent et correspond au cologarithme décimal de la concentration en ions H^+ ;

- La température

C'est un paramètre qui influence la cinétique du métabolisme, la distribution des espèces, la dissolution des gaz dissous dans l'eau (Edeline, 1997). Un optimum est requis par chaque groupe d'espèces pour l'accomplissement des activités vitales. Ainsi peut-on trouver, à titre illustratif, les espèces psychrophiles, mésophiles et thermophiles;

- La conductivité

Elle traduit la conductance d'une colonne entre deux électrodes métalliques de 1 cm² et distantes de 1 cm l'une de l'autre. Etant l'inverse de la résistivité, ce paramètre fournit rapidement l'information concernant le degré de la minéralisation d'un cours d'eau. Il est en relation avec la quantité totale d'ions présents dans l'eau. Une forte variation de la conductivité peut être aussi un indicateur de pollution du cours d'eau. A côté de ces paramètres, on peut encore citer d'autres, notamment l'oxygène dissous, les solides totaux dissous, etc.

3.1.1.3.2 Paramètres de pollution microbiologique

En raison d'impossibilité de rechercher simultanément tous les microorganismes pathogènes liés à la contamination fécale dans l'environnement, quelques types sont sélectionnés comme indicateurs.

- Germes témoins de contamination fécale

Les bactéries témoins de contamination fécale sont des microorganismes procaryotes qui vivent dans le tractus gastro-intestinal et dont la présence dans une substance constitue un signe de pollution fécale. L'usage des coliformes totaux comme indicateurs fait objet de contestation depuis quelque temps du fait de l'hétérogénéité de leur origine (hydrique ou tellurique). Les coliformes thermotolérants (fécaux) sont des indicateurs d'une contamination récente ou constante, d'origine fécale humaine ou animale. Ces indicateurs sont définis comme des bactéries aérobies et anaérobies facultatives, gram négatif, asporulées, en forme de bâtonnet. *E. coli* est une bactérie naturelle et normale de la flore intestinale des homéothermes et constitue un indicateur plus spécifique de contamination fécale que le groupe des coliformes fécaux. Sa présence indique une contamination d'origine fécale mais son absence n'assure pas obligatoirement l'absence de contamination d'origine fécale humaine ou animale. Pour être qualifié de bon indicateur de contamination fécale, le germe doit remplir un certain nombre de critères tels que repris dans le Tableau 6.

Tableau 6. Critères des indicateurs de contamination fécale (Gerardi et Zimmerman, 2005)

Propriétés	Caractéristiques d'indicateur
Pathogénicité	Non pathogène
Occurrence	Présent si pathogènes présents, absent en absence de contamination fécale
Survie	Taux de survie similaire à celui des pathogènes
Reproduction	Ne se reproduit pas dans les eaux naturelles
Inactivation	Inactivé par les différents traitements au même niveau que les pathogènes
Source	Contamination fécale
Coût	Méthodes d'étude bon marché, rapides et simples

Les ERU (domestiques et municipales) constituent les principales sources environnementales des coliformes fécaux et *E. coli*. Parfois, les ERI en constituent les sources car les activités agricoles reliées à l'épandage ou à l'entreposage des fumiers et des lisiers, peuvent être à l'origine de pollution microbiologique. C'est pour cette raison que les coliformes fécaux et *E. coli* sont utilisés fréquemment dans la réglementation et les suivis environnementaux (eaux potable, de baignade, résiduaires).

Par ailleurs, une autre catégorie importante d'indicateurs de contamination fécale concerne les streptocoques fécaux. Ces derniers sont des coques gram positif, catalase négatif, incubés à 44.5 ± 0.5 °C, appartenant aux genres *Enterococcus* et *Streptococcus* possédant l'antigène du groupe D de Lancefield. L'appellation "streptocoques fécaux" était jadis utilisée pour désigner des bactéries appartenant au genre *Streptococcus* et associées au tractus gastro-intestinal des humains et des animaux (Leclerc *et al.*, 1996). Grâce aux nouveaux outils de caractérisation (méthodes génétiques), des changements majeurs ont été apportés dans la nomenclature du genre *Streptococcus* (Leclerc *et al.*, 1996): un nouveau genre nommé *Enterococcus* a été créé, et quelques espèces appartenant à l'ancienne catégorie des entérocoques du genre *Streptococcus* ont été transférées vers le nouveau genre. Ces bactéries sont moins spécifiques à la contamination fécale que *E. coli* mais elles possèdent une persistance très longue dans l'environnement. Leur détection conduit à la mise en évidence d'une pollution fécale plus ancienne que celle mise en évidence par *E. coli*.

Les sources des germes témoins de contamination fécale sont variables. Le milieu urbain constitue en soi une source de coliformes fécaux. Il n'est pas étonnant de constater l'origine animale dans les eaux d'égouts, à cause de l'éventuelle présence des animaux tant domestiques que sauvages en milieu urbain. La littérature (Mallin *et al.*, 2000; Young et Thackston, 1999) a mis en évidence une corrélation positive entre la densité urbaine et les concentrations en coliformes fécaux dans les rivières. Aussi, la corrélation est considérée positive entre l'imperméabilité d'une zone urbaine et la production des coliformes fécaux (Young et Thackston, 1999). Les concentrations de ces germes sont aussi variables. En effet, beaucoup de facteurs peuvent influencer leurs concentrations en milieu aquatique: la température, la salinité, le pH, la luminosité, etc. Aussi, le broutage par les parasites joue un rôle de grande importance dans la réduction de leurs concentrations. Garcia-Armisen (2006) distingue trois classes majeures qui caractérisent les obstacles à la survie des coliformes: les obstacles hydrodynamiques (dilution, dispersion, sédimentation et suspension), physiologiques (lumière, nutriments, oxygène, salinité et température) et biotiques (broutage et lyse). Rozen et Belkin (2006) mentionnent le broutage par les protozoaires comme le principal facteur expliquant la décroissance des coliformes en milieu naturel, alors que Servais *et al.* (2007) évaluent leur taux de mortalité à $0,027 \text{ h}^{-1}$ à $0,040 \text{ h}^{-1}$ en ce milieu.

- Éléments biologiques responsables des parasitoses tropicales

Au sein des communautés vivantes présentes dans les écosystèmes aquatiques, les parasites constituent un groupe non négligeable. Ils sont composés des protozoaires et des

helminthes (Tableau 7). Les gens qui sont infectés par des parasites les rejettent continuellement dans les égouts à travers des matières fécales. Les infestations se produisent souvent quand une personne avale des parasites (kystes ou œufs) (Wiesmann *et al.*, 2007).

Tableau 7. Protozoaires trouvés dans les eaux (Gerardi et Zimmerman, 2005)

Organismes (locomotion)	Maladie (site affecté)	Réservoir majeur
<i>Balantidium coli</i> (cils)	Dysenterie/ulcères intestinales (tractus gastro-intestinale)	Fèces humaines
<i>Cryptosporidium</i> (Coccidium)	Cryptosporidiose (tractus gastro-intestinale)	Fèces humaines et animales
<i>Entamoeba histolytica</i> (pseudopode)	Dysenterie amibienne (tractus gastro-intestinale)	Fèces humaines
<i>Giardia lamblia</i> (flagelle)	Giardiase (tractus gastro-intestinale)	Fèces humaines et animales
<i>Naegleria guberi</i> (pseudopode)	Méningoencéphalitiase amibienne (système nerveux central)	Eau et sol

En zone tropicale, les parasitoses constituent un problème préoccupant de la santé publique vu leurs fréquence, diversité, distribution géographique et effet négatif sur les populations. Le déficit observé en matière d'accès à l'eau potable, à l'assainissement de base et la promiscuité, l'insuffisance de connaissance sanitaire ainsi que les conditions climatiques en sont les facteurs favorisants. Le tableau 8 présente quelques paramètres intervenant dans la composition des eaux usées domestiques (Metcalf et Eddy, 2003). Les concentrations minimales, moyennes et maximales sont obtenues en fonction d'une consommation d'eau respective de 750, 460 et 240 l par équivalent-habitant (EH).

Tableau 8. Caractéristiques des eaux usées domestiques (Metcalf et Eddy, 2003)

Paramètre	Unité	Concentration		
		Minimum	Moyenne	Maximum
DCO	mg/l	250	430	800
DBO ₅	mg/l	110	190	350
MES	mg/l	120	210	400
Azote total	mg/l	20	40	70
Phosphore total	mg/l	4	7	14
CF	/100 ml	10 ³ -10 ⁵	10 ⁴ -10 ⁶	10 ⁵ -10 ⁸
<i>Giardia lamblia</i> (kyste)	/100 ml	10 ⁻¹ -10 ¹	10 ⁻¹ -10 ²	10 ⁻¹ -10 ³

3.1.1.4 Equivalent-habitant (EH)

La notion d'équivalent-habitant ou, précisément, de charge polluante d'un équivalent-habitant, a été introduite pour faciliter le dimensionnement des installations d'épuration des eaux. Elle correspond au rejet total résultant de l'activité domestique d'une personne au cours d'une journée. Cette notion est le plus souvent utilisée en assainissement, et fait allusion à la quantité journalière de pollution produite par un habitant fictif (moyen). Etant donné que l'on peut catégoriser la production journalière de pollution par habitant selon que l'on est des pays du nord ou du sud (Tableau 9), les valeurs d'équivalent-habitant sont différentes.

Tableau 9. Charges polluantes et concentrations relatives à l'équivalent-habitant appliquées en Belgique et au Burundi [Le volume de rejet d'eaux usées (en litre) est évalué à 180 EH⁻¹.j⁻¹ (Belgique) et à 100 EH⁻¹.j⁻¹ (Burundi)] (Nsavyimana, 2014)

Désignation	Charge polluante (g.EH ⁻¹ .j ⁻¹)		Concentration (mg/l)	
	Belgique	Burundi	Belgique	Burundi
DCO	138,75	117,08	770,8	1170,8
DBO ₅	64,63	54,53	359,05	545,3
MES	73,67	62,17	409,2	621,7
Azote total	10,6	-	58,88	-
Phosphore total	4,41	-	24,5	-

La notion d'EH est également applicable dans le secteur industriel, notamment en agro-alimentaire, dont les illustrations sont données par unité de volume ou de masse. Tenant compte de cette notion, on a les charges suivantes: 2 EH (1 litre de lait), 0,6-0,8 EH (1 litre de sang), 300-2000 EH (1000 litres de bière), ainsi que 100-300 EH, 300-400 EH, 700-2300 EH et 1000-4000 EH respectivement pour une tonne de papier, de carcasse, de linge sale et de peaux. Bien entendu, il s'agit d'ordre de grandeur permettant de fixer rapidement l'estimation d'une charge industrielle, mais pour établir des projets plus précis, il est bien évident qu'une mesure réelle de charge polluante de l'entreprise concernée est le plus souvent nécessaire.

3.1.2 Eaux usées industrielles

3.1.2.1 Origine et composition des effluents industriels

Les effluents industriels proviennent principalement des industries agro-alimentaires, chimiques, papetières, textiles, des cuirs, des industries minérales, extractives, mécaniques, sidérurgiques, métallurgiques, de traitement de surfaces et de production d'énergie. A l'opposé des ERU qui présentent des propriétés relativement communes, les eaux résiduaires industrielles (ERI) sont caractérisées par une grande diversité de types d'industries ou des procédés de production (DEGREMONT, 2005).

Pour illustration, quelques cas peuvent être mentionnés pour éclaircissement. Les eaux résiduaires des structures agro-alimentaires sont caractérisées par une pollution essentiellement organique et présentent une forte tendance à l'acidification et à la fermentation rapides. Par ailleurs, les eaux résiduaires des industries textiles sont très diversifiées et il paraît facile de caractériser les principales activités polluantes plutôt que les effluents eux-mêmes. Pour les structures industrielles de la chimie fine (pharmacie, cosmétiques, peinture, colorants, etc.), les ERI sont constituées d'une partie de produits de départ, les auxiliaires de fabrication (solvant par exemple), les déchets de synthèse et les produits finaux non récupérés. Quant aux industries du pétrole, on peut répertorier quatre groupes d'activités (production du brut, transport, raffineries et pétrochimie) capables de générer des effluents spécifiques.

D'après la littérature, on distingue quatre sources d'eau usée dans une industrie: les eaux de fabrication, les eaux sanitaires, les eaux de ruissellement et de lavage, etc., ainsi qu'un certain nombre de rejets périodiques de sources diverses. Pour la gestion de ces effluents, en tenant compte des dispositions légales locales, les eaux sanitaires peuvent être traitées séparément des eaux industrielles ou en commun avec les ERI, ou aussi être rejetées dans le réseau d'égout public. De préférence et habituellement, on envisage le traitement séparé de ces effluents à cause des aléas comme le coût de chloration et de désinfection des eaux sanitaires.

3.1.2.2 Nature des pollutions et normes de rejet d'ERI

Les ERI sont de nature variée et peuvent contenir des substances insolubles ou solubles, organiques ou inorganiques, bases ou acides, biodégradables ou non biodégradables. Les activités industrielles sont responsables d'une grande partie de polluants rejetés (organiques, azotés ou phosphorés) et de la quasi totalité des rejets toxiques (métaux lourds et polluants organiques persistants).

Leur rejet requiert le respect d'un certain nombre de normes dans un contexte de multitude de paramètres qui existent, applicables en fonction des spécificités propres à chaque type d'industries et des législations de différents pays. Certains effluents industriels doivent impérativement faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetés dans les réseaux de collecte, en s'assurant qu'ils ne présentent plus de danger et ne peuvent plus perturber le fonctionnement des stations d'épuration.

Pour assurer le contrôle des ERI, le programme de gestion revêt une importance capitale et comprend des étapes bien définies, dont le répertoire de diverses phases de fabrication et de sources d'eau utilisée, la mise en évidence de la nature des matières premières et des caractéristiques des eaux usées, la prise de connaissance du réseau d'égouttage, etc. Ce programme sera suffisamment développé dans le chapitre sur la caractérisation des eaux industrielles où sera présenté une étude de cas.

La quête de la gestion efficace des ERI pousse à maîtriser et contrôler la part des pollutions produites par les eaux pluviales et de ruissellement générées sur le site. Parmi les procédés, un bon drainage des surfaces de production, la mise en place des bassins de retenue ou le déversement de ces eaux dans le réseau d'égouttage des ERI sont des pratiques qui interviennent dans cet effet. Dans cette optique, Eckenfelder (1982) propose cinq façons pour réduire la charge polluante dans une industrie: le recyclage, la collecte séparée, l'évacuation sous forme semi-sèches, la réduction de la consommation de l'eau et la récupération.

3.2 Assainissements non collectif et collectif

3.2.1 Assainissement non collectif et son fonctionnement

En l'absence des égouts ou dans le cas où ceux-ci sont opérationnels, c'est l'assainissement non collectif qui est préconisé. Un système d'assainissement non collectif est un ensemble constitué par une succession logique de différentes technologies issues de trois maillons de la filière de l'assainissement (collecte, évacuation et dépotage ou traitement).

Quant aux technologies d'assainissement non collectif, on sous-entend toutes les technologies impliquées dans les différents maillons de l'assainissement non collectif en vue de gérer les eaux usées ménagères. Dans notre unité Assainissement et Environnement, le travail de Bigumandondera (2014) s'est appesanti largement sur les technologies rencontrées dans ce système. Selon les maillons, diverses technologies peuvent être utilisées.

3.2.1.1 Maillon amont

Les technologies qui servent à recueillir l'ensemble des eaux usées domestiques au niveau des ménages, forment le maillon amont de l'assainissement. Leur rôle s'inscrit dans la logique de l'amélioration des conditions sanitaires au sein des ménages. Elles dépendent du système utilisé par le ménage. De ce fait, on rencontre les systèmes humides, secs et écosan.

Les **systèmes humides** font appel à l'eau pour fonctionner. Ils peuvent recevoir les eaux noires ainsi que les eaux grises et leurs technologies comportent les variantes:

* Fosse septique: C'est un ouvrage imperméable destiné au stockage et traitement des eaux grises et noires; il est fait en béton, en fibre de verre, en PVC ou en plastique. Cette technologie remplit deux fonctions principales: la décantation (fonction physique) qui permet la séparation des matières fécales des graisses et autres matières en suspension, et la fermentation (fonction biologique) qui permet la digestion des boues (Vasel, 2007). Etant donné que la fosse septique assure un traitement partiel, l'effluent qui en sort doit impérativement être traité et, dans bien des cas en Afrique, c'est le puits perdant qui est utilisé pour cet effet (Kalbermatten *et al.*, 1980). Dans la plupart des cas, ce dispositif affiche

des faiblesses de fonctionnement (colmatage insinuant l'infiltration nulle en sol argileux, ce qui provoque la résurgence en surface avec tous les désagréments corollaires; pollution de la nappe pour des sols perméables) et pour cet effet, Vassel (2007) prône pour les pays africains, de se doter des dispositions réglementaires adaptées aux connaissances scientifiques en la matière et misant des options alternatives au puits perdants et dont les capacités épuratoires ont été plusieurs fois attestées, notamment les filtres à sable, à zéolithe ou à tourbe;

* *Aqua privy*: C'est une latrine qui est installée au-dessus d'une fosse étanche remplie d'eau, où un tuyau de chute, sous le trou de défécation, est utilisé pour amener directement dans la fosse les excréta (Franceys *et al.*, 1995). Ces derniers sont digérés par la voie anaérobie similaire au process de la fosse septique (Kalbermatten *et al.*, 1980). Pour empêcher les remontées des gaz dans la superstructure, le tuyau de chute plonge dans le liquide et un autre tuyau de ventilation est utilisé pour évacuer le gaz de fermentation. Un dispositif annexe, comme un puits perdant, s'avère nécessaire pour recevoir le liquide décanté;

* Latrine à siphon hydraulique: Réunissant les caractéristiques d'une latrine à fosse (stockage des excréta) et celles d'une toilette à chasse mécanique avec fosse septique (évacuation des excréta par l'eau), elle est munie d'un siphon qui empêche les odeurs de remonter dans la superstructure. On l'appelle aussi latrine à chasse manuelle. En général, cette latrine n'est pas étanche et, de ce fait, constitue une source de pollution pour la nappe.

Les technologies sèches n'ont pas besoin d'eau pour fonctionner. Elles reçoivent seulement les excréta et l'eau de nettoyage anal et d'entretien de latrine. Ces systèmes comprennent les cas suivants:

* Latrine traditionnelle à fond perdu: Il s'agit d'une simple fosse recouverte en bois ou en béton et munie d'un trou de défécation et d'une superstructure pour intimité. Outre les odeurs, cette latrine présente des risques sanitaires et environnementaux élevés (prolifération des mouches, atteinte de la nappe, etc. On peut trouver plusieurs variantes notamment la latrine à canon (munie d'un tuyau de trop-plein pour évacuer les excréta dans les caniveaux ou rivières le long desquels elle est installée), la latrine suspendue (dont la superstructure est installée directement au dessus d'une rivière ou caniveau), la latrine à tinette (composé d'un seau ou récipient appelé à recevoir les excréta et qu'on doit enlever périodiquement, et la latrine à trou foré (puits foré avec une tarière manuelle ou mécanique).

* Latrine sèche améliorée: C'est une variante de la latrine traditionnelle à fond perdu mais doublée d'un évent (un tuyau vertical en PVC pour aération et évacuation des odeurs) chapeauté d'un grillage fin anti insectes. Brikké et Bredero (2003) suggèrent quelques exigences recommandées pour que cette latrine demeure améliorée: prévoir une entrée d'air au-dessus de la porte de la cabine; éviter de fermer le trou de défécation pour

permettre une bonne circulation d'air; la porte gardée fermée, doit faire face à la direction des vents dominants; l'intérieur de la cabine doit rester sombre pour ne pas attirer les mouches.

Les systèmes d'assainissement écologique dit écosan sont généralement développés en Europe du nord et aussi en quelques pays asiatiques notamment en Chine et au Vietnam (Esrey *et al.*, 2001). Ils présentent des caractéristiques intéressantes dont la prévention des maladies, la protection de l'environnement, la récupération des nutriments (principalement l'azote) contenus dans les urines et fèces pour amender les sols et promouvoir les rendements agricoles (Tumwebaze *et al.*, 2011).

Dans ces systèmes, on distingue: la latrine à compost (les excréta sont mélangés avec de la terre, des cendres afin de favoriser le compostage) et la latrine à déviation d'urines ou à déshydratation qui prône la séparation des urines des fèces en vue de bien les traiter et profiter de leurs potentialités respectives.

3.2.1.2 Maillon intermédiaire

Une fois l'ouvrage d'assainissement collectif rempli, deux options se présentent pour les utilisateurs: combler la fosse et creuser une nouvelle ou procéder à la vidange des boues. Lorsqu'il y a de l'espace, la première option présente des avantages sanitaires (suppression de contact avec les boues) mais s'il n'y a pas assez d'espace comme dans la plupart des villes en pays de développement, c'est la deuxième option qui prime (la vidange) avec tous les risques possibles.

Concernant la vidange, trois options technologiques sont généralement d'usage: mécanique, semi-mécanique ou manuelle. L'objectif étant de préserver la salubrité des quartiers tout en assurant une évacuation hygiénique vers un site de dépotage autorisé pour le maintien d'un bon état sanitaire et écologique.

Relativement à la vidange mécanique, la technologie de *Vacuum tanker* fait usage d'un engin à moteur qui accomplit la tâche de vidange de boues contenues dans la fosse. Plus utilisé dans le monde mais sur des voies carrossables (Koanda, 2006), ce système comprend une citerne montée sur un camion avec une pompe à vide reliée au réservoir pour aspirer les boues (Thye *et al.*, 2009). En parallèle, il existe des variantes technologiques utilisées sur des sites peu accessibles et parmi lesquelles on peut citer *Micravac* (Afrique du Sud), *Dung beetle* (Ghana), *Vacutug* (Kenya) à l'instar des autres variantes développées utilisées à travers le monde (Opel & Bashar, 2013; O'Riordan, 2009; Still & Foxon, 2012).

Quant à la vidange semi-mécanique, le système fait appel à deux types de force (manuelle et mécanique) et présente une variété d'avantages, notamment la réduction de la dépendance énergétique, la diminution des risques de blocages de la pompe, large capacité

d'accessibilité aux sites d'intervention, matériaux et mise œuvre bon marché, ainsi qu'un coût abordable (Muller et Rijnsburger, 1988; Thye *et al.*, 2009).

La vidange des boues de manière manuelle, est une technique qui présente beaucoup de risques sanitaires aussi bien chez les vidangeurs que chez les habitants de la parcelle ou des ménages environnants. En effet, les boues sont manipulées de manière moins hygiénique et leur évacuation se fait clandestinement dans la plupart des cas (Klingele *et al.*, 2002). La littérature mentionne deux technologies rencontrées dans ce type de vidange: la technique de l'excavation où les boues sont retirées de la fosse et sont dépotées en surface ou enterrées, et celle de rinçage qui demande de vider et transférer les boues de la fosse habituelle à une deuxième beaucoup plus profonde (Still, 2002).

3.2.1.3 Maillon aval

Les boues vidangées et transportées à un site de dépotage, doivent être traitées pour éviter les risques sanitaires et les pollutions des milieux récepteurs. Les options de traitement existent et sont appliquées et bien documentées en Occident mais ne sont pas toutes transposables en Afrique à cause de plusieurs contraintes (accès limité à l'énergie, manque de compétences techniques requises, etc.). Fort de ces considérations, les méthodes non conventionnelles se prêteraient mieux aux cas des pays africains afin de parvenir à assurer un bon cadre de vie et un bon état écologique des écosystèmes. En plus, les options tendant à reconsidérer les déchets à leur juste valeur comme des sources en veilleuse de potentiels énergétiques et d'amendement de sols, devraient être favorisées, tout en incorporant les aspects relatifs à la protection sanitaire.

En guise de la promotion de ces aspects, il a été mis en place par Bigumandondera (2014), un indicateur d'assainissement non collectif, à considérer comme outil d'évaluation et de suivi des performances pour l'assainissement non collectif en Afrique subsaharienne. Cet indicateur est constitué de plusieurs indicateurs, qui, chacun de manière isolée, ne possèdent pas les mêmes capacités à garantir différentes performances requises, d'ordre sanitaire ou environnemental d'une filière d'ANC. Ainsi ledit indicateur possède-t-il une connotation globale, contrairement à l'indicateur de l'OMS/UNICEF qui s'intéresse seulement à la mesure du taux de couverture en installation d'assainissement amélioré. En somme, alors que la démarche suivie par le programme commun de surveillance de l'OMS/UNICEF est basée uniquement sur l'installation d'assainissement, l'approche suivie par Bigumandondera (2014) est fondée sur la prise en compte de toute la filière d'assainissement. Cet indicateur vaut son pesant d'or dans la mesure où non seulement, il se propose d'apporter un *plus value* aux consultations pour la mise en place des objectifs post-2015 où les discussions sont déjà entamées, mais il pourrait également permettre de cibler les parties de la chaîne d'ANC nécessitant des améliorations, au grand bénéfice des gestionnaires d'assainissement qui pourraient s'en servir pour personnaliser la situation de

chaque ménage. A titre de rappel, un système d'assainissement comprend 3 maillons et se trouve résumé dans la figure 8.

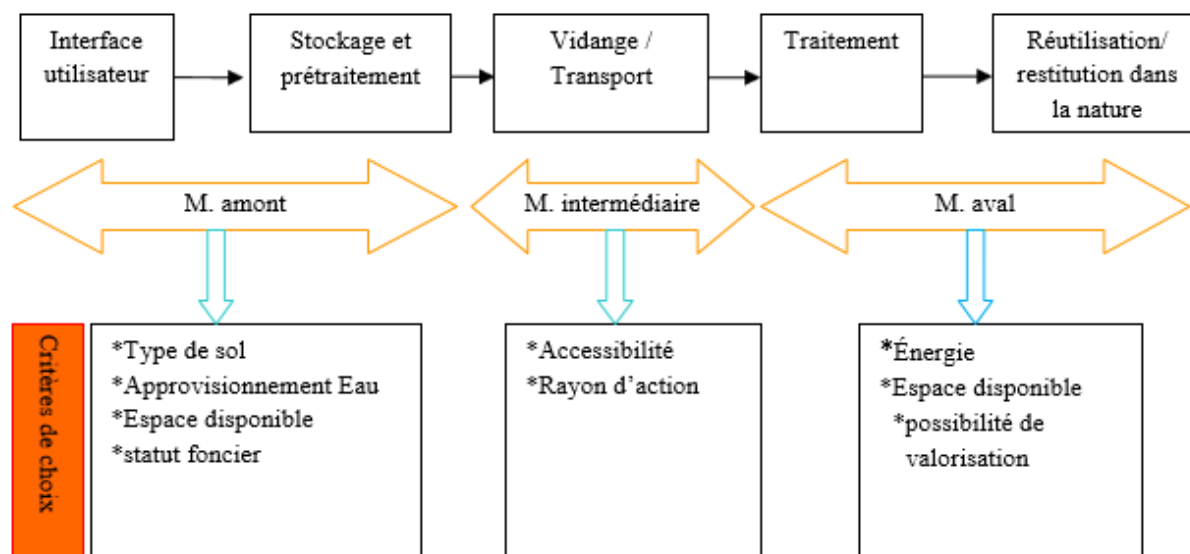


Figure 8. Schéma général d'assainissement et des critères pour le choix des technologies (Bigumandondera, 2014)

En vue de permettre une bonne sélection de technologies, l'auteur a mis en place 2 grilles de sélection pour les choix à effectuer aux maillons tant supérieur qu'intermédiaire (Figures 9 et 10).

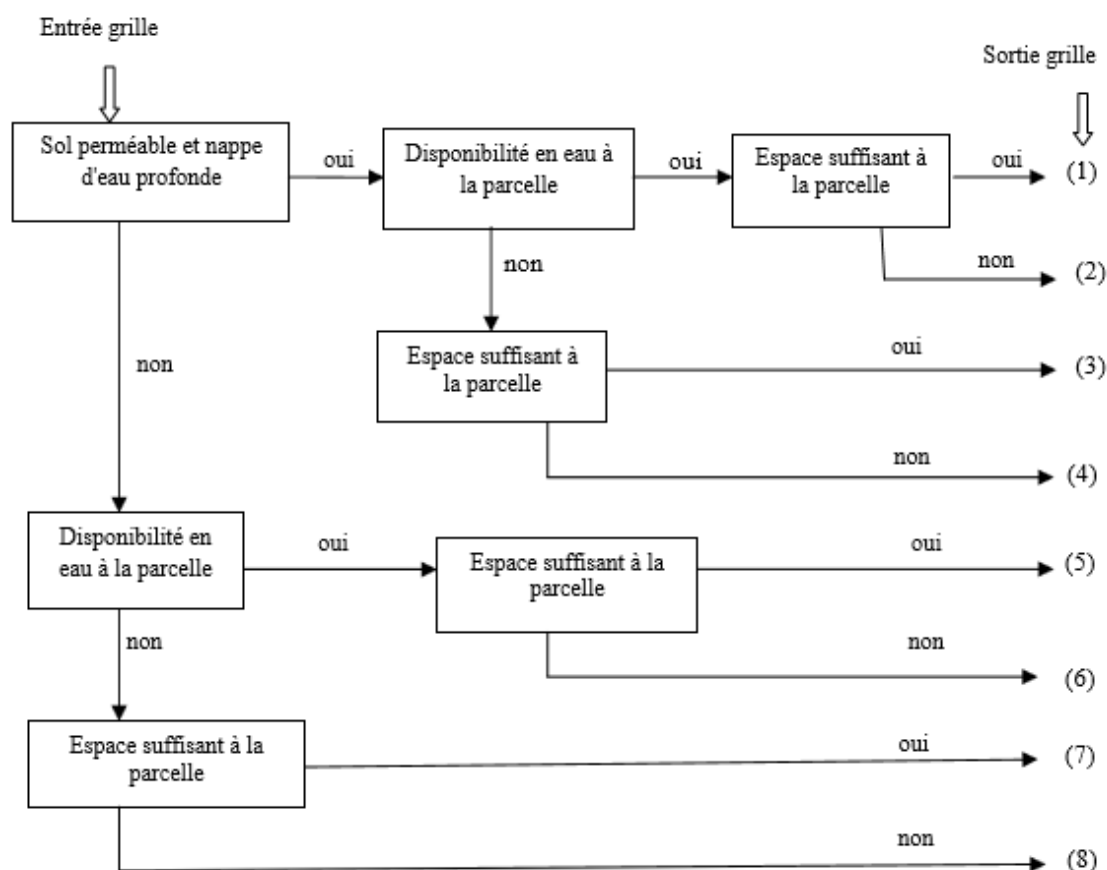


Figure 9. Grille de sélection des technologies au maillon amont (Bigumandondera, 2014)

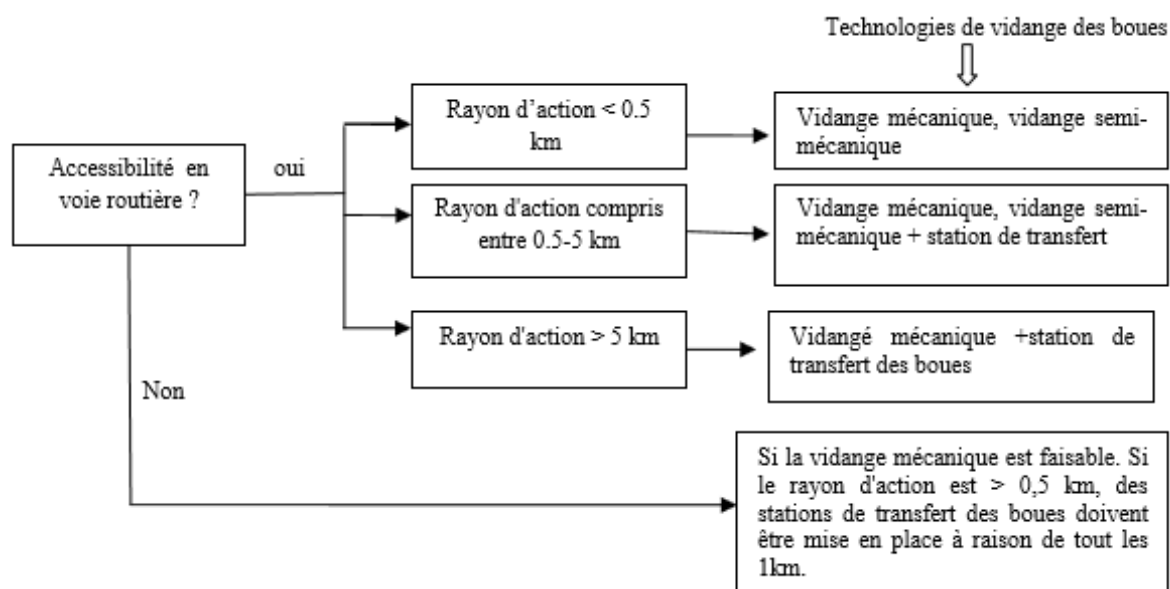


Figure 10. Grille de sélection des technologies de vidange des boues (Bigumandondera, 2014)

La figure 9 montre à la rubrique "sortie grille" des chiffres allant de 1 à 8, correspondant aux différentes éventualités à rencontrer sur terrain. De manière singulière, l'éventualité (1)

montre que les ménages ont une gamme de choix beaucoup plus vaste étant donné que tous les critères sont favorables. En plus, pour les autres éventualités, il est question de comprendre qu'il y a des contraintes et aléas qui interviendraient pour guider le choix à prendre. En parallèle, 2 critères importants interviennent dans le choix des technologies de vidange et de transport de boues vers un site de dépotage/traitement: l'accessibilité du ménage en voie routière et le rayon d'action relatif à la distance entre le ménage et le site de dépotage des boues de vidange (Figure 10). Ainsi les ménages possèdent-ils 2 alternatives d'action une fois l'ouvrage de collecte des excréta est rempli: (i) creuser une nouvelle fosse en bouchant l'ancienne (alternative nécessitant absolument de l'espace dans la parcelle) ou (ii) procéder à une vidange de boues pour continuer à l'employer.

3.2.2 Assainissement collectif

3.2.2.1 Egouttage

Il est important que l'Etat dote le pays des dispositions légales qui puissent orienter les activités du domaine de l'assainissement pour éviter l'anarchie susceptible d'en résulter et de perturber le fonctionnement des écosystèmes dont dépend la qualité de vie des habitants. C'est pourquoi dans beaucoup de pays, entre autres la Belgique, des mesures d'accompagnement sont prises afin de réglementer ledit domaine. En effet, l'arrêté royal du 3 août 1976 appliqué aux déversements des effluents dans les eaux de surface ordinaires, dans les égouts publics et dans les voies artificielles d'écoulement des eaux pluviales, détermine les conditions auxquelles les eaux usées doivent répondre afin de pouvoir être déversées dans leur milieu récepteur. Aussi, il est exigé l'application du régime d'assainissement collectif pour les agglomérations d'au moins 2000 EH et les agglomérations à moins de 2000 EH, pour autant qu'il existe une station d'épuration collective existante, que 75% des égouts existent et soient en bon état. Dans la même optique, le raccordement à l'égout devra requérir l'autorisation préalable écrite du Collège communal et se réaliser sous le contrôle des autorités communales pour respecter un certain nombre de prescriptions. Parmi les prescriptions, il y a l'obligation d'installer un regard de visite accessible et placé à un endroit offrant toutes garanties de contrôle de la quantité et de la qualité des eaux réellement déversées, l'interdiction du déversement des eaux pluviales et claires parasites dans la canalisation eaux usées de l'égout séparatif si le réseau en est doté.

En vue de protéger les villes et les vies des citoyens, à l'hypothèse où il n'y a pas de réseau d'égouttage comme dans beaucoup de villes de la RDC, les effluents tant domestiques qu'industriels ne devraient pas s'écouler sur les voies publiques, y compris sur les accotements et les trottoirs, ainsi que dans les filets d'eau, dans les fossés et sur les talus qui en constituent les dépendances. Ce déficit étant occasionné par les dispositions réglementaires quasi-inexistantes ou possédant des textes obsolètes. Pour rappel, l'assainissement poursuit un triple objectif: évacuation rapide, sans stagnation, de tous les déchets d'origine humaine susceptibles de générer des odeurs et des putréfactions nuisibles;

protection du milieu naturel pour garantir les usages ultérieurs de l'eau; et évacuation des eaux de ruissellement. Afin d'assurer l'évacuation des effluents, la typologie d'égouttage présente jusqu'à quatre systèmes (séparatif, unitaire, pseudo-séparatif et mixte), dont l'unitaire et le séparatif se présentent comme les principaux, avec divers avantages et inconvénients.

3.2.2.1.1 *Système unitaire*

Il s'agit d'un système qui est l'héritage du tout-à-l'égout, né vers 1830 après les épidémies et du mouvement hygiéniste, dont la doctrine prônait de tout laver et de tout évacuer à l'égout. De par ce principe, le tout-à-l'égout aujourd'hui est loin de faire l'unanimité et fait carrément l'objet d'interdiction (Bourrier *et al.*, 2010).

Dans ce système, l'ensemble des eaux usées et pluviales est évacué par un réseau unique, qui est pourvu généralement de déversoirs assurant le rejet d'une partie des eaux, en cas d'orage, par surverse, directement en milieu naturel. Le système est caractérisé par la simplicité de l'exploitation (autocurage, branchement unique, obstructions moins fréquentes) comme avantage majeur. En effet, le fait de disposer d'une conduite unique au droit de chaque voie est suffisant pour permettre aux habitants riverains de se raccorder. Cependant, il présente aussi des inconvénients, dont le surdimensionnement des ouvrages d'épuration en raison des débits plus grands à traiter, les pollutions du milieu récepteur par les eaux en provenance des déversoirs d'orage, les dimensions importantes des conduites, ainsi que de grandes dilutions par temps de pluie.

3.2.2.1.2 *Système séparatif*

En séparatif, les effluents urbains (eaux usées et pluviales) sont évacués par des réseaux séparés: les eaux pluviales étant évacuées dans une conduite relativement de dimension plus importante, alors que les eaux usées sont collectées dans une autre de faible dimension. Il s'agit en quelques sortes, de la tendance à la spécialisation de réseau d'évacuation en fonction de la nature des effluents. On peut noter des avantages majeurs si les eaux pluviales proviennent des zones basses, ou en bordure du cours d'eau récepteur, ou en zone périphérique. En plus, il présente des avantages liés au fait que l'eau à traiter arrive plus régulièrement à la station (minimisant ainsi le surdimensionnement), et l'épuration est plus efficace. Fort de ces caractéristiques, le système est considéré comme le seul qui soit concevable au cas d'une population dispersée, et est imposable dans le cas où le cours d'eau qui traverse l'agglomération est de faible débit.

En outre, le diamètre des conduites est moins important, il n'y a pas de rejets d'eaux usées dans le milieu récepteur, et l'écoulement des eaux pluviales pouvant s'effectuer en caniveau dans la partie amont. Cependant, le système séparatif comprend des inconvénients liés au coût en investissement (construction de deux réseaux), à la pollution des eaux pluviales (particulièrement en zone rurale), au colmatage car l'autocurage pouvant s'avérer difficile,

aux mauvais branchements (inversion) constituant une importante source de pollution chronique et fréquents si les deux types de réseaux existent dans la localité, et aux contrôles permanents d'ordre managérial.

3.2.2.1.3 Système pseudo-séparatif

Il s'agit d'un système dans lequel les apports d'eau pluviale se déclinent en deux catégories, dont l'une rassemble les eaux qui ruissellent des surfaces de voirie et qui s'écoulent grâce aux ouvrages conçus à cet effet par la mairie (aqueducs, caniveaux, fossés avec évacuation directe dans la nature), et l'autre qui draine les eaux des toitures et cours intérieures raccordées au réseau d'assainissement, à travers les mêmes branchements que ceux des eaux usées domestiques, conduisant au regroupement d'évacuations des eaux d'un même immeuble. N'étant plus préconisé dans la conception de nouvel équipement de nos jours, ce système a offert ses services dans de nombreuses zones suburbaines à habitations relativement proches les unes des autres.

C'est un système qui présente le même inconvénient que le système unitaire dans une moindre mesure, en augmentant ou fournissant des débits irréguliers à traiter au niveau de station d'épuration.

3.2.2.1.4 Système mixte

Considéré parfois comme une variante du système séparatif, ce système prévoit parfois une dérivation partielle des eaux les plus polluées du réseau pluvial vers celui des eaux usées en guise d'épuration. Pour rappel, les premiers flots des événements pluvieux ou d'orages sur de petits bassins versants transportent d'importantes charges de pollutions. Appliqué dans les grandes villes, le système nécessite des ouvrages d'interconnexion, des dérivations, des pompes, etc.

Séparatif ou unitaire, le réseau peut fonctionner en gravitaire, ou non gravitaire: en sous pression (pompage) ou en dépression (sous vide) qui utilise une centrale à vide ou des regards de transfert.

3.2.2.2 Traitement des eaux usées: procédés biologiques

3.2.2.2.1 Métabolisme et réactions biologiques

En vue de se maintenir en vie, les organismes vivants entretiennent diverses réactions d'oxydoréductions au sein de leur environnement, ce qui conduit à la croissance des individus et des populations. Pour les microorganismes et spécialement les bactéries, la croissance des individus conduit inéluctablement à la division cellulaire, donc à l'augmentation de la population. A cet effet, la cellule bactérienne affiche un besoin nutritif permanent et défini (Gerhard 1987).

Suivant la source d'énergie, les bactéries sont classées en phototrophes et chimiotrophes. Les premiers se contentent de l'énergie lumineuse pour mener leurs activités vitales, alors que les seconds sont appelées à libérer de l'énergie chimique contenue dans les matières présentes dans leur environnement afin d'assurer leur biosynthèse. Par contre, selon la source de carbone, on trouve aussi deux catégories d'organismes: les autotrophes et les hétérotrophes. Les bactéries hétérotrophes utilisent le carbone organique, contrairement aux autotrophes qui se servent de carbone inorganique. Dans un système isolé (discontinu ou batch), la croissance bactérienne peut être subdivisée en quatre phases (Figure 11): la latence, la phase exponentielle, la phase stationnaire, et le déclin.

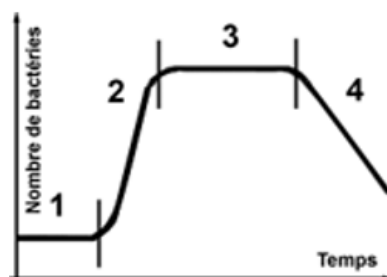


Figure 11. Evolution d'une population bactérienne en batch

En latence (phase d'acclimatation), on note la synthèse des enzymes nécessaires à l'utilisation des substances présentes au milieu. Pouvant durer 2 à 5 jours, elle correspond à 2 phénomènes biologiques: l'organisation de la communauté et la prolifération des bactéries.

En phase exponentielle (où le taux de croissance atteint une vitesse maximale), on peut noter de très légères fluctuations de la courbe dues au fait que tous les germes ne se divisent pas tous exactement au même moment. De ce fait, la courbe représente une moyenne et on peut la décrire par l'équation (équation de Malthus):

$$\frac{dX}{dt} = \mu X$$

En s'intégrant:

$$X = X_0 e^{\mu t}$$

Dans cette équation, X désigne la concentration en microorganismes (biomasse) en mg/l, tandis que μ est le taux de croissance (h^{-1}). A ce stade, le taux de croissance atteint son maximum (μ_{max}).

En stationnaire (où le taux de croissance est nul), l'accumulation des produits du métabolisme et l'épuisement du substrat présent dans le milieu, ne permettent plus aux microorganismes de se diviser infiniment. Cette phase peut être illustrée par l'équation de Monod dont le travail a été le pionnier à proposer une relation homographique pour représenter l'influence de la concentration en substrat sur le taux de croissance, en incluant une constante de pseudo-affinité K_s :

$$u = \hat{u} \frac{S}{K_s + S}$$

Dans cette équation, μ est le taux de croissance (h^{-1}), μ_{\max} signifie taux maximum de croissance (h^{-1}), S est la concentration en substrat (mg/l) et K_s , la constante de saturation (mg/l).

En décroissance ($S \ll K_s$) ou phase de déclin (le taux de croissance étant négatif), il s'agit des phénomènes qui conduisent à une diminution de la population des microorganismes viables et à la lyse cellulaire dont sont auteurs les enzymes protéolytiques endogènes.

Ainsi donc, en conditions discontinues, la littérature signale la décroissance de la masse cellulaire et l'installation de la respiration endogène faisant suite à l'épuisement du substrat (Edeline, 1982). La notion sur la maintenance métabolique des bactéries comprend une littérature abondante et diverse (Bouillot, 1988). De ces études, on remarque que la source d'énergie qui sert à la maintenance, dépend des conditions de croissance des microorganismes (Figure 12). Ainsi, lorsque le substrat est limité, l'énergie est utilisée pour le profit de maintenance. Si l'énergie externe diminue encore, il s'en suit le phénomène de respiration endogène, causant une réduction de la quantité de biomasse. La lyse cellulaire qui constitue un objet de grande importance dans le processus de la réduction de la production des boues, fait suite au passage des microorganismes de l'état viable à celui non viable, survient même en conditions favorables en raison de la dégénérescence des cellules (inhibition, limitation, vieillissement), et est provoquée ou amplifiée par un stress (physique ou chimique) ou une carence en substrat.

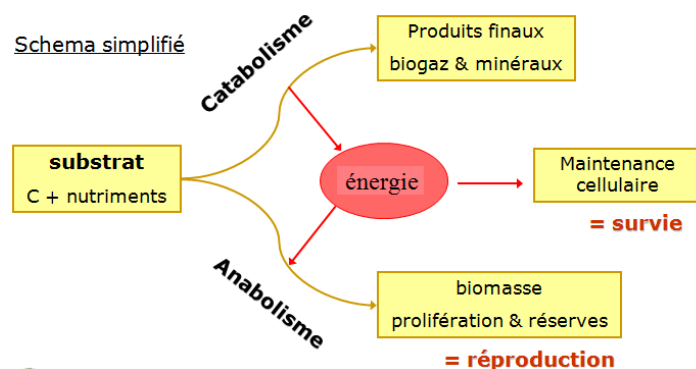


Figure 12. Schéma global du métabolisme bactérien (Deronzier et al., 2001)

Les connaissances sur le métabolisme des microorganismes sont mises à profit dans le domaine du traitement des eaux usées, afin de mettre en place une filière de traitement la plus faisable économiquement et robuste, aboutissant à la production d'un effluent respectueux de l'environnement par la suppression des composés organiques et des nutriments.

3.2.2.2.2 Traitement des nutriments

3.2.2.2.2.1 Elimination du carbone

La connaissance des facteurs biochimiques des bactéries est primordiale pour élucider et optimiser le traitement par la voie biologique des eaux résiduaires, qui fait appel à deux types de métabolismes (respiration et fermentation). Ainsi, en génie sanitaire, les bactéries hétérotrophes jouent un rôle d'extrême importance, en assurant l'oxydation des molécules organiques. Quant aux autotrophes, elles utilisent les substances minérales carbonées pour accomplir leur tâche vitale. La cinétique de la multiplication des hétérotrophes est beaucoup plus rapide que celle des autotrophes.

A cet effet, les mécanismes de dépollution biologique relative à l'abattement des matières organiques par la voie aérobie peuvent être résumés en 3 principaux phénomènes : catabolisme (combustion), anabolisme (biosynthèse), et respiration endogène (auto-oxydation). Ainsi, le catabolisme fournit de l'énergie libérée des matières dégradées et des éléments simples (métabolites). Grâce à ces deux principaux éléments, l'anabolisme peut être enclenché pour synthétiser les molécules organiques destinées à la croissance des bactéries. La respiration endogène consiste à l'auto-oxydation des cellules par autophagie ou par transformation plus ou moins complète de la biomasse formée en composés minéraux, gaz carbonique, ammoniac et eau. Certaines de ces réactions sont aérobies (l'oxygène est l'accepteur final des électrons) et d'autres anoxiques (l'accepteur final des électrons est un autre élément que l'oxygène), ou anaérobies où il n'y a pas d'échange d'électron mais d'hydrogène. La voie anaérobie fournit 20 fois moins d'énergie aux bactéries que la voie aérobie. Cependant, ces deux types peuvent coexister dans une même cellule. Les deux principales pistes de dépollution par la voie biologique que sont la méthanisation (traitement anaérobie) et l'oxydation aérobie (traitement aérobie), présentent diverses propriétés (Tableau 10).

*Tableau 10. Avantages et désavantages des traitements aérobie et anaérobie
(Bourrier et al., 2010; DEGREMONT, 2005; Edeline, 1993)*

Traitement aérobie		Traitement anaérobie	
Avantages	Désavantages	Avantages	Désavantages
Pas de post-traitement (DCO d'effluent faible, suppression de N et P)	Coût d'exploitation élevé (énergie pour aération, gestion de boue)	Faibles coûts d'exploitation (pas d'aération, production de boue négligeable)	Post-traitement nécessaire
Pas de chauffage (température:0-40°C)	Requiert un grand espace	Pas besoin d'un grand espace	Chauffage parfois nécessaire
Processus très robuste	Pas de production d'énergie (CH ₄)	Production d'énergie (CH ₄)	
Démarrage rapide			

3.2.2.2.2 Elimination de l'azote

L'abattement de l'azote par la voie biologique est une filière efficace pour la réduction de l'azote des eaux usées. D'après DEGREMONT (2005), le cycle d'élimination de l'azote dans une station d'épuration, comprend quatre étapes essentielles: ammonification (transformation de l'azote organique en azote ammoniacal), assimilation (emploi de l'ammoniaque pour la synthèse de la biomasse qui sera éliminée avec les boues en excès), nitrification (oxydation de l'azote ammoniacal en nitrites puis en nitrates) et dénitrification (conversion des nitrates en azote gazeux libéré à l'atmosphère) (Figure 13). L'assimilation peut jouer un rôle de grande importance dans le processus d'élimination d'azote, surtout en condition où le ratio DBO₅/NK est élevé. De manière large, l'azote éliminé par cette voie peut représenter 25% de l'azote des eaux brutes urbaines (Deronzier *et al.*, 2001).

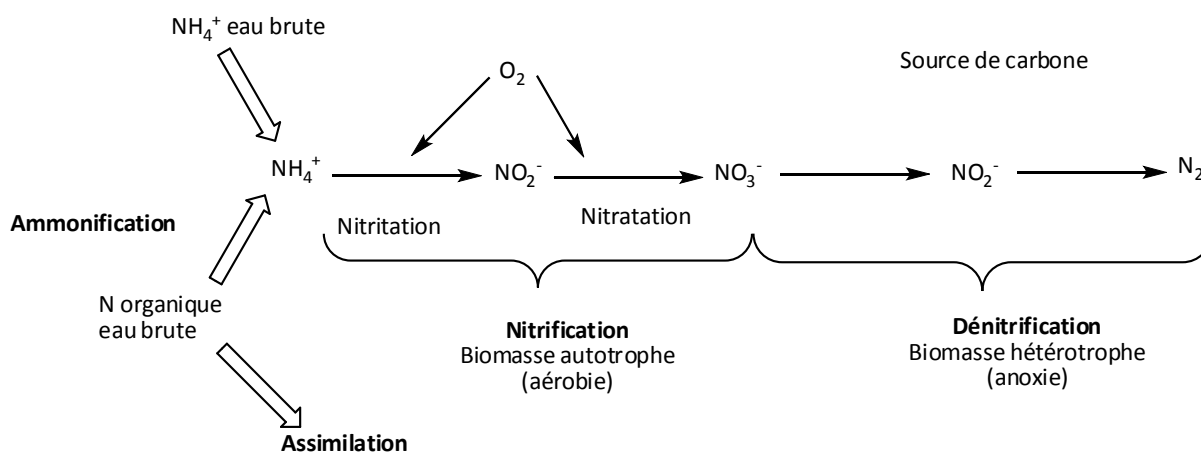
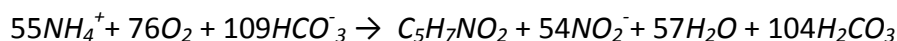


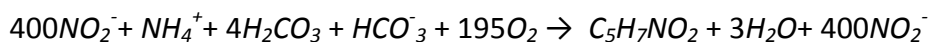
Figure 13. Etapes d'élimination biologique de l'azote (Bourrier *et al.*, 2010; Edeline, 1993)

La nitrification et la dénitrification constituent des réactions de haute importance pour l'élimination de l'azote par la voie biologique. La nitrification qui consiste en l'oxydation de l'azote ammoniacal (NH_4^+) par les microorganismes autotrophes, en nitrites (NO_2^+) et en nitrates (NO_3^+), se fait selon deux réactions biochimiques successives : nitritation (*espèces telles que Nitrosomonas*) et nitratisation (*espèces telles que Nitrobacter*). Edeline (1993) a mis au point les relations de ces deux réactions biochimiques:

Nitritation:



Nitratisation:

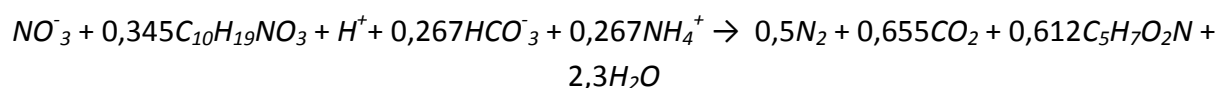


Cependant, les deux réactions peuvent subir l'influence de plusieurs facteurs. Dans cet ordre d'idée, la nitrification est sensible au pH (optimum entre 7,2 et 8), consomme de l'alcalinité, exige des concentrations élevées en oxygène dissous. Sensible aux éléments inhibiteurs et

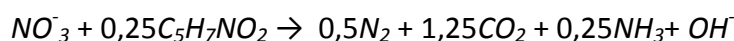
toxiques en concentrations inférieures à celles affectant les hétérotrophes aérobies, la flore nitrifiante utilise le carbone minéral et présente une cinétique de croissance faible, induisant ainsi des répercussions sur la conception des procédés, dont la nécessité d'un âge des boues élevé. La loi d'Arrhénius (Edeline, 1993) traduit l'influence de la température sur la flore nitrifiante, avec une valeur de θ variant entre 1,054 et 1,127 pour *Nitrosomonas*, ou entre 1,06 et 1,07 pour *Nitrobacter*. En outre, la nitrification entraîne la diminution du pH dans le milieu à cause de la consommation du carbone inorganique (H_2CO_3).

Par contre, la dénitrification constitue la réduction des ions nitrate en diazote gazeux par une flore anaérobie facultative, dont certains *Pseudomonas sp.* Son processus requiert une source en carbone qui peut provenir soit de l'effluent à traiter ou d'un éventuel apport synthétique, ou aussi d'une source liée aux dénitrifiants eux-mêmes. Ainsi, les deux premières possibilités constituent une dénitrification exogène, tandis que la dernière est une dénitrification endogène. Selon, Metcalf et Eddy (1991), la cinétique de la dénitrification endogène est cinq fois plus lente que celle de la dénitrification exogène:

Dénitrification exogène:



Dénitrification endogène (Christensen et Harremoes, 1978):



La dénitrification est une opération qui utilise 3,5 à 6 g DCO. g N⁻¹ suivant que l'on considère ou non la formation de la biomasse (Edeline, 1993). Le tableau 11 présente les différences fondamentales entre les bactéries qui assurent la nitrification et celles de dénitrification.

Tableau 11. Différences fondamentales entre les bactéries nitrifiantes et dénitrifiantes

Facteurs	Bactéries nitrifiantes		Bactéries dénitrifiantes
	<i>Nitrosomonas</i>	<i>Nitrobacter</i>	
Source de carbone	Inorganique (CO ₂)	Inorganique (CO ₂)	Organique
Forme de cellule	Sphérique	Bâtonnet	-
Taille de cellule (µm)	1 - 1,5	0,5 - 1	-
Demande d'O ₂	Aérobie strict	Aérobie strict	Facultatif
Température (°C)	5 - 30	5 - 40	-
pH	5,8 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5

Aussi, la dénitrification exige une température similaire à celle que demande la dégradation de la DBO en milieu aérobie, et un pH relativement élevé (7-8,2). Elle fournit de l'alcalinité, est inhibée par la présence de l'oxygène dissous; sa cinétique dépend de la nature et des concentrations des substrats organiques (DEGREMONT, 2005).

3.2.2.2.3 *Elimination du phosphore*

Les ERU ainsi que certaines ERI sont riches en nutriments, dont les orthophosphates provenant principalement des tripolyphosphates sodiques présents dans les détergents. L'intensité de l'exportation des nutriments par le ruissellement est en lien avec les précipitations, relief, composition géologique, géomorphologie, taux d'application des excréments et des engrais, type de sol et intensité de la déforestation. Du fait que ces effluents participent à l'eutrophisation, des mesures impératives doivent être prises pour contrôler leur concentration en phosphore. Le processus d'élimination du phosphore comprend peut se faire de deux manières: l'emploi des additifs chimiques pour précipiter le phosphore (méthode physico-chimique), ou la biodégradation (méthode biologique).

3.2.2.2.4 *Etapes de traitements des eaux usées*

L'épuration des eaux usées se fait suivant une suite de phases, notamment le prétraitement et le traitement. Le prétraitement permet d'éliminer les éléments solides les plus grossiers par des procédés physiques (sédimentation, flottaison, tamisage) et les sous-produits générés de ces opérations sont traités comme des déchets banals. Cependant, les matières dissoutes et en suspension y échappent et constituent l'objet de la deuxième phase qu'est le traitement. En effet, cette deuxième phase d'épuration peut se faire de diverses façons.

3.2.2.2.3 *Procédés de dépollution*

Les procédés de dépollution sont entendus comme l'ensemble des moyens techniques mis œuvre par l'emploi des processus biologiques dans des conditions contrôlées pour traiter les effluents. On trouve différents types de procédés, lesquels proposent une série d'usages en fonction de la nature des effluents et de leurs caractéristiques. En général, la classification des procédés de dépollution biologique fait appel à trois notions: le type de réaction biologique (emploi ou pas d'oxygène), la culture des microorganismes (procédés à biomasse libre ou fixée), l'homogénéité du milieu (procédés parfaitement homogènes ou non homogènes). Par la combinaison de ces caractéristiques, on peut obtenir différents types de réacteurs tels que développés par Edeline (1993):

- Le réacteur continu : le débit d'entrée (non nul) est égal au débit de sortie et le volume du réacteur est donc constant;
- Le réacteur semi-continu: le débit est variable à l'entrée mais nul à la sortie. Pendant la phase de réaction, le volume est variable, augmentant jusqu'au maximum et une fois la réaction terminée, une partie du réacteur est vidée;
- Le réacteur batch: le réacteur est rempli au début jusqu'au volume maximal. Les réactions se déroulent à volume constant puis le réacteur est en partie vidée.

Les deux dernières classes de systèmes fonctionnent sur un mode séquentiel : l'effluent à traiter est introduit dans le réacteur, les réactions démarrent, les phases solide et liquide s'installent, puis on procède au soutirage de la phase liquide. Et un nouveau cycle peut démarrer.

Les filières biologiques de dépollution comprennent différentes technologies et variantes, utilisant des systèmes à culture libre (boues activées) ou fixée. Une présentation sommaire de certaines de technologies usuelles en génie sanitaire peut s'avérer importante.

Les lits bactériens et les biodisquessont des systèmes à cultures fixées et le principe de leur traitement est basé sur le développement sur des matériaux spécifiques comme matières plastiques ou pouzzolane, de biofilm épurateur, l'oxygène étant fourni par l'atmosphère. Les supports du développement du biofilm remplissent le réacteur du lit bactérien et permettent le ruissellement de l'effluent et son traitement par la biomasse épuratrice, tandis que dans la structure des disques biologiques, le développement du biofilm se fait sur des disques à moitié immergés et en rotation permanente à vitesse lente. Ces ouvrages nécessitent la présence des décanteurs installés en amont pour permettre l'alimentation du réacteur en effluent décanté, et en aval pour la clarification. Ces types d'ouvrages sont réputés adaptés aux petites localités, de fonctionnement simple (faible consommation d'énergie, peu d'entretien et faible sensibilité aux variations de charges), et de bonne rétention de boues. Cependant, ils ont quelques inconvénients, notamment une limitation des performances épuratoires souvent en lien avec le dimensionnement, d'importants coûts d'investissement, et de grande sensibilité aux variations de température.

Les systèmes à culture libre peuvent être illustrés par les stations à boues activées. En effet, la biomasse épuratrice est en suspension au sein des effluents dans le réacteur qui, obligatoirement, doit précéder un décanteur (secondaire). Celui-ci de séparer les effluents traités des boues. L'eau traitée quitte la Step, ainsi qu'une partie de boue, dont une autre frange est recirculée du décanteur vers l'aérateur. A noter que l'effluent brut est soumis au prétraitement préalablement avant d'arriver au réacteur. L'un des facteurs de grande importance dans ce type d'ouvrage est la charge massique admissible (Edeline, 1993).

A l'instar de ces procédés, on trouve également d'autres, extensifs, ainsi que d'autres encore qui semblent être spécifiques aux petites pollutions. Concernant les procédés extensifs, le plus répandu est le lagunage, naturel ou aéré. A culture libre et fonctionnement continu, l'ouvrage est un réacteur qui reçoit l'effluent brut (entrée) et laisse partir l'effluent traité (sortie). De façon générale, une partie de boue produite sédimente dans le réacteur. Le lagunage naturel ne requiert pas d'énergie pour son fonctionnement, la gravitation permet l'écoulement, tandis que les échanges avec l'atmosphère approvisionnent la station en oxygène. Cependant, il nécessite un temps de séjour hydraulique élevé et un volume important du bassin. Face à cette situation, force est de constater qu'on préfère parfois

pourvoir ces bassins des aérateurs afin de fournir un flux d'oxygène élevé et minimiser l'encombrement spatial. Le lagunage est un procédé robuste et convient particulièrement aux pays en développement, vu les avantages offerts.

En outre, on peut mentionner d'autres procédés spécifiques, dont les filtres à sable et les filtres plantés, qui constituent des techniques utilisées pour le traitement de petites sources de pollution en complément à l'épandage. Réputés très sensibles aux variations de température et climatiques, ils présentent un caractère variable de performances qui dépendent des saisons et des régions géographiques.

Pour comprendre le fonctionnement des ouvrages de traitement d'eaux usées, présentons un modèle de Step (SBR) afin de fixer des idées.

3.2.2.2.4 Réacteurs séquentiels

3.2.2.2.4.1 Principe et historique

La mise en œuvre de SBR (sludge batch reactor) stipule une conjugaison de phénomènes d'anaérobie, anoxie et aérobie ; ce qui permet l'abattement de pollution carbonée, azotée et phosphatée. Le SBR est une variante de boues activées, et s'en démarque simplement par le fait qu'il combine tous les processus et étapes de traitement dans un même bassin. Le SBR a été découvert en même temps que le traitement par boues activées au début du siècle passé. Bien que le système en "batch" présentait des avantages considérables, les pratiques de l'alimentation en continu en cette période (les années cinquante), ont favorisé le développement des systèmes de boues activées conventionnels préférés aux traitements en cuvée, pour la simplicité et la facilité du processus en continu. En outre, les limites des connaissances sur les performances de la faune microbienne responsable du traitement et la non adéquation du matériel nécessaire au traitement en cuvée à cette époque, avaient favorisé cette tendance.

Avec le développement des connaissances de nos jours, les préférences de SBR aux boues activées se justifient par les caractéristiques suivantes: bonne performance reliée à des contrôles biologiques puissants; résistance aux variations des charges; plus grande flexibilité de traitement; abattement des nutriments; réduction du travail par l'automatisation des systèmes de contrôle logique; réduction des coûts d'opération et de construction.

3.2.2.2.4.2 Mode de fonctionnement du SBR

Pour rappel, le principe du fonctionnement d'un réacteur biologique séquentiel (SBR) est le même que celui des boues activées, à la seule différence que le SBR exige d'aérer et de laisser décanter un volume d'effluent dans un même bassin alimenté en discontinu par l'effluent à traiter. La station de type SBR comprend un cycle à 5 phases fondamentales (Figure 14). Cependant, la dernière phase (celle du repos) peut ne pas avoir lieu si la station comprend un système d'égalisation ou de réservoir (Wilderer *et al.*, 2001).

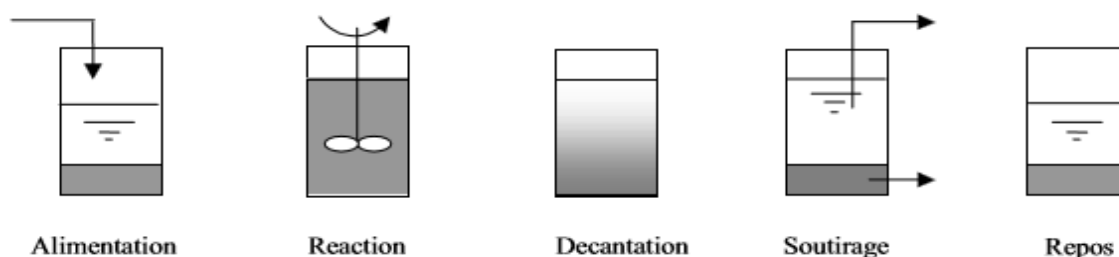


Figure 14. Les phases d'un cycle de SBR

Remplissage

Dans cette phase, le réacteur reçoit les eaux usées brutes ou primaires par le système de pompage ou par la gravité. Le volume de remplissage est fonction d'un certain nombre de facteurs dont le chargement et le temps de rétention souhaités, les caractéristiques de décantation, etc. Par contre, le temps de remplissage est assujéti à un certain nombre de paramètres dont: le volume du réacteur, le nombre des réacteurs fonctionnant en parallèle, le taux du flux produit. D'après Wilderer *et al.* (2001), on distingue : le remplissage statique (qui n'a pas besoin d'apport énergétique au système et permet l'accumulation des substrats), le remplissage agité (d'activité aérobie minimale et sans aération forcée, permettant des réactions anoxiques ou anaérobies), le remplissage aéré (avec aération forcée et permettant simultanément les réactions aérobies et anoxique).

Réaction

Déjà effectives en phase de remplissage, les réactions biologiques se déroulent avec une grande cinétique du fait de l'agitation qui la caractérise. En effet, le remplissage aéré (avec aération forcée et permettant simultanément les réactions aérobies et anoxique), la réaction agitée (d'activité minimale aérobie et sans aération forcée, permettant des processus anoxiques ou anaérobies) et la réaction aérée (dont le mélange se fait sous une aération forcée, permettant des processus aérobies) expliquent la réalisation de cette phase. Grâce à l'alimentation discontinue, le couplage des temps de séjour hydraulique et de séjour de boue permet que le réacteur joue le rôle du décanteur.

Décantation

Le réacteur se comporte en clarificateur étant donné que l'entrée des effluents et l'agitation forcée sont arrêtées. La boue décante dans le fond du bassin, laissant apparaître au-dessus la phase des eaux traitées (surnageant).

Soutirage et repos

Le mécanisme de soutirage est conçu de sorte qu'il n'y ait pas de fuite des matières solides, et le temps y imparti (5-30 % de la durée du cycle) ne devrait pas être prolongé au risque

d'occasionner la remontée de boue. La période entre le soutirage et un nouveau remplissage forme la phase du repos.

On peut clore ce point en précisant que la technologie de SBR peut assurer, outre la dégradation des matières organiques, la nitrification, la dénitrification et l'enlèvement du phosphore dans un même réacteur, avec ou sans apport chimique. Elle est à même de supporter de fortes fluctuations de débits et des charges organiques. Aussi, elle s'apprête aux variations de modes opératoires pour s'adapter aux changements qui prévalent, et ne nécessite pas une recirculation de boues. Par contre, elle requiert des dispositifs de contrôle robustes et sophistiqués ainsi qu'un personnel rodé pour des performances adéquates de la station.

3.3 Impact de la pollution sur l'environnement

L'apport des polluants dans les écosystèmes aquatiques peut conduire à diverses réactions effectuées par les microorganismes présents. Parmi les conséquences de ces réactions, on peut noter la baisse des concentrations en oxygène. A titre de rappel, les sources de l'oxygène dans un écosystème comme la rivière, sont diverses: apport par l'amont ou par les affluents, la photosynthèse et la réaération. Quant aux pertes, il résulte de l'oxydation biologique des matières organiques carbonées ou azotées, de la décomposition bactérienne des sédiments, de la respiration des plantes aquatiques et de la demande chimique immédiate d'oxygène.

Globalement, les écosystèmes aquatiques constituent les zones réceptrices des sous-produits des activités humaines et sont les plus exposés aux pollutions et les plus affectés. Dans cet ordre d'idée, les matières organiques solubles provoquent la diminution de la teneur en oxygène dissous des eaux réceptrices, et sont en partie responsables des goûts et odeurs dans les eaux de distribution. La couleur et la turbidité sont responsables d'altération esthétique et peuvent augmenter le coût du traitement de l'eau. En parallèle, les composés réfractaires peuvent induire la formation des mousses, tandis que les sulfures donnent de mauvaises odeurs. Les MES induisent la formation des bancs dans le milieu récepteur, alors que la température conduit à la pollution thermique qui peut modifier le profil de la concentration en oxygène dissous en milieu récepteur (Eckenfelder, 1982).

En limnologie, on peut discerner deux types systèmes qui caractérisent les écosystèmes aquatiques: les systèmes lotiques (rivières) et lentiques (lacs). Lorsque les écosystèmes aquatiques sont pollués, le phénomène d'auto-épuration peut s'en suivre. Cependant, le faible taux de renouvellement et de réoxygénation des eaux en faciès lentique pourra conduire à l'eutrophisation. En faciès lotique, le processus d'auto-épuration s'installe et constitue la première conséquence du déversement d'eaux usées. Ce processus se fait à travers la multiplication des microorganismes épurateurs, notamment les bactéries aérobies dans un premier temps, et la baisse rapide des teneurs en oxygène dissous liée à la

consommation par la biomasse épuratrice. Cette consommation s'illustre par la courbe en sac qui traduit l'évolution des teneurs en oxygène dissous qui dépendent de la vitesse de transfert d'oxygène à l'interface eau/air, de la photosynthèse (algues et plantes aquatiques) et de la cinétique de dégradation bactérienne.

Références bibliographiques

Bigumandondera P. (2014). Etude de l'assainissement non collectif en Afrique subsaharienne: Application à la ville de Bujumbura. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 276p.

Bouillot (1988). Bioréacteurs à recyclage des cellules par procédés membranaires: Application à la dépollution des eaux en aérobiose. Thèse de doctorat au INSA de Toulouse, France.

Bourrier R., Satin M. et Selmi B. (2010). Guide technique de l'assainissement. Ed. Le Moniteur, France, 775p.

Brikké F. & Bredero M. (2003). Linking technology choice with operation and maintenance in the context of community water supply and sanitation: A reference document for planners and project staff. Geneva: WHO and IRC Water and Sanitation Centre, 27 p.

Christensen M.H. & Harremoes P. (1978). Nitrification and denitrification in wastewater treatment. The chemistry and microbiology of pollution, Edition Willey, N.Y., 391-364.

De Cuyper K. et Loutz S. (1992). Les caractéristiques des eaux usées domestiques. Tribune de l'eau, vol. 45, n° 560, pp 7-20.

DEGREMONT(2005). Mémento technique de l'eau. Degremont, Suez. 10^e édition, Paris-France.

DEGREMONT (1989). Mémento technique de l'eau. Paris, Lavoisier, 1459 p.

Deronzier G., Schétrite S., Racault Y., Canler J.P., Liénard A., Héduit A., Duchène P. (2001). Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités, Cemagref, Document technique FNDAE, n° 25.

Eckenfelder W.W. (1982). Gestion des eaux urbaines et industrielles. Technique & Documentation (Lavoisier), Paris.

Edeline F. (1997). Théorie et technologie des réacteurs. L'épuration biologique des eaux. Editions CEBEDOC, Liège, 303 p.

Edeline F. (1979). L'épuration biologique des eaux résiduaires: Théorie et Technologie. Technique et documentation, Paris, ISBN 2-85206-052-3, 306p.

Edeline F. (1993). L'épuration biologique des eaux: théorie et technologie des réacteurs. CEBEDOC éditeur.

- Eriksson E., Auffarth K., Henze M. and Ledin A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water* 4(1), 85-104.
- Esrey S.A., Gough J., Rapport D., Sawyer R., Simpson-Hébert M. & Vargas J., 2001a. Assainissement écologique. ASDI, Stockholm, Suède, 93 p.
- Franceys R. and Pickford J.(1995). On-plot sanitation in low-income urban communities: a review of literature. WEDC, Loughborough University, 81p.
- Gerardi M.H. and Zimmerman M.C. (2005). Wastewater pathogens. Wiley-Interscience; John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Kalbermatten J.M., Julius D.S. and Gunnerson C.G. (1980). Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation. A sanitation field manual. World bank, Washington, 86 p.
- Kaningini B., Micha J-Cl., Vandenhaute J., Platteau J.P., Watongoka H., Melard C., Wilondja M. K. et Isumbisho M., 1999. Pêche du Sambaza au filet maillant dans le lac Kivu, Rapport final du Projet ONG/219/92/Zaire, ETEC, Presse Universitaire, Namur, Belgique.
- Klingel F., Montangero A., Koné D. et Strauss M. (2002). Gestion des boues de vidange dans les pays en développement. Manuel de planification. Eawag/Sandec, Dübendorf, Suisse, 57p.
- Koanda H. (2006). Vers un assainissement urbain durable en Afrique subsaharienne: Approche innovante de planification de la gestion des boues de vidange. Thèse de doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 311p.
- Leclerc H., Devriese L.A., Mossel D.A.A. (1996). Taxonomical changes in intestinal (faecal) enterococci and streptococci: consequences on their use as indicators of faecal contamination in drinking water. *Journal of Applied Bacteriology*, 81, 459-466.
- Mallin M.A., Williams K.E., Esham E.C. and Lowe R.P. (2000). Effect of human development on bacteriological water quality in coastal watersheds. *Ecol. Appl.* 10: 1047 - 1056.
- Young K.D. and Thackston E.L. (1999). Housing density and bacterial loading in urban streams. *Journal of Environmental Engineering*, 125: 1177-118
- Metcalf et Eddy (1991). Wastewater engineering treatment disposal reuse. Mc Graw Hill International Edition.
- Metcalf and Eddy Inc. (2003). Waste water engineering treatment and reuse. 4th Edition, Tata Mc Graw Hill publication, New Delhi. 116p.
- Ministère de la santé publique (2013). Rapport du Forum sous régional de collaboration inter pays pour la lutte contre le choléra du 12 au 14 mars 2013, Kinshasa.
- Muller S. and Rijnsburger J. (1988). MAPET. A Neighbourhood-Based Pit Emptying Service with Locally Manufactured Handpump Equipment in Dar es Salaam, Tanzania. Manual Pit-Latrines Emptying Technology Project Final Report. WASTE, the Netherlands

O'Riordan M. (2009). Investigation into Methods of Pit Latrine Emptying. Partners in Development WRC Project, 1745, 1.2.1, 75p.

Opel A. & Bashar M. K. (2013). Inefficient technology or misperceived demand: the failure of Vacutug-based pit-emptying services in Bangladesh. *Waterlines*, 32(3), pp 213-220.

Rozen, Y., & Belkin, S. (2001). Survival of enteric bacteria in seawater. *FEMS Microbial Rev* 25, 513–529.

Servais P., Garcia-Armisen T., George, I., Billen, G. 2007. Fecal bacteria in the rivers of the Seine drainage network (France): sources, fate and modelling. *Science of the Total Environment*.

Sigvaldason, G.E. (1989). International conference on Lake Nyos disaster, Yaounde, Cameroon 16-20 March, 1987 - Conclusions and recommendations. *Journal of Volcanology and Geothermal research* 39, pp. 97-107.

Still D. A. & Foxon K., 2012. Tackling the challenges of full pit. Volume 1: Understanding sludge accumulation in VIPs and strategies for emptying full pits. Water research commission, Pretoria, South Africa, 156 p.

Still D. A. (2002). After the pit latrine is full... what then? Effective options for pit latrine management, Biennial conference. Water Institute of Southern Africa. Durban, South Africa, 10 p.

Thye Y. P., Templeton M. R. & Ali M. (2011). A critical review of technologies for pit latrine emptying in developing countries. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 41(20), 1793-1819.

Tumwebaze I. K., Orach C. G., Nakayaga J. K., Karamagi C., Luethi C. & Niwagaba C., 2011. Ecological sanitation coverage and factors affecting its uptake in Kabale municipality, western Uganda. *International journal of environmental health research*, 21(4), 294-305.

Vasel J.L. (1992). La fosse septique. Les dispositifs d'épuration. *Tribune de l'eau*, vol. 45, n° 560, pp 23-46.

Vasel J.L. (2007). Evolution de l'assainissement individuel: perspectives et question en suspens. *Tribune de l'eau*, 641(1), 3-16.

Wilderer, P., Irvine, R.L. and Goronszy, M.C. (2001). Sequencing Batch Reactor Technology, IWA Scientific and Technical Report No. 10. IWA Publishing, London.

Young K.D. et Thackston E.L. (1999). Housing density and bacterial loading in urban streams. *Journal of Environmental Engineering*, 125, 1177-1180.

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

CHAPITRE IV. GESTION DE L'EAU ET PROFIL SANITAIRE DANS LA VILLE DE BUKAVU

4.1 Introduction

Dans la plupart des pays en développement en Afrique, la période postcoloniale a vu naître de sérieux problèmes d'assainissement. En effet, en portant un regard rapide sur ce secteur et spécialement en milieu urbain, on peut facilement se mettre en accord avec les travaux de Kjellstrom *et al.* (2007) et ceux de l'OMS (1994) qui affirment que la maîtrise de la qualité de l'environnement se trouve être un enjeu majeur de santé publique avec la croissance non planifiée des villes africaines. D'autre part, Sy *et al.* (2011) signalent que l'anarchie et la non planification de la croissance des villes en Afrique, constituent un facteur qui affecte plus les populations vulnérables et démunies des quartiers défavorisés. Aussi, on peut s'apercevoir qu'une part importante des ménages vit dans des conditions d'extrême pauvreté, affectant la qualité de leur environnement de vie (Dorier-Apprill, 2006). En fait, l'urbanisation s'accompagne de besoins croissants en matière de logement décent, d'accès à l'eau potable, d'assainissement, d'accès aux soins de santé, etc. Pourtant, point n'est besoin de rappeler que dans la plupart de ces pays, les pouvoirs publics ne disposent pas d'assez de moyens pour faire face à cette situation (Wyss *et al.*, 2001).

Dans cet ordre d'idées, par le truchement de leur Programme Commun de Surveillance (PCS), l'OMS et l'UNICEF ont pris un engagement d'être une plateforme pour la coordination des efforts et la mise à la disposition des gestionnaires de l'assainissement des séries de données actualisées de différentes nations concernant leurs progressions vers les atteintes des objectifs du millénaire pour le développement et, précisément la cible numéro dix de l'objectif sept qui consiste à réduire de moitié la proportion de la population n'ayant pas accès à des services adéquats d'assainissement dans la période de 1990 jusqu'en 2015 (WHO & UNICEF, 2000; OMS & UNICEF, 2007). Face à l'importance et la grandeur de ce défi, le Programme Commun de Surveillance (PCS) a établi un indicateur de suivi dans le domaine de l'assainissement, consistant à évaluer la proportion des populations qui accèdent aux installations d'assainissement améliorées. En outre, en vue de bien cerner les contours de ce domaine dynamique à caractère plus ou moins complexe, le Programme Commun de Surveillance (PCS) s'est attelé à définir les installations d'assainissement améliorées (raccordement au tout-à-l'égout, raccordement à une fosse septique, latrine à chasse d'eau rudimentaire, latrine à fosse simple avec dalle, latrine à fosse améliorée et autoventilée) et celles non améliorées (latrine publique ou communale, défécation en plein air, latrine à tinette) (WHO & UNICEF, 2000).

Par ailleurs, fort du caractère complexe et multidimensionnel que présente l'assainissement, Koné (2000) stipule que ce secteur requiert, pour de très longues négociations, l'intervention de plusieurs acteurs de divers domaines dont les scientifiques, techniciens, exploitants, gestionnaires, entrepreneurs, bailleurs de fond, communautés locales et forces vives de la

société civile. En effet, l'abondance de la littérature à ce sujet, montre l'intérêt et le sérieux à y apporter, de la part de toutes les forces vives nationales ou supranationales. Dans cette optique, on peut citer entre autres, les travaux menés à la ville de Maradi/Niger (Salem et Jannée, 1989), à Brazzaville République populaire du Congo (Dorier-Apprill, 1993), à Pikine/Sénégal (Salem, 1998), à Yaoundé (Kouam Kenmogne, 2013), à Bujumbura/Burundi (Bigumandondera, 2014; Nsavyimana, 2014), aux villes de Kinshasa/RDC, Bujumbura/Burundi et Bambereké/Benin par Ngahane *et al.* (2015). Ces différents travaux révèlent les risques sanitaires multidimensionnels dictés par la dégradation des conditions environnementales, et qui entachent le cadre de vie dans les écosystèmes urbains en Afrique subsaharienne.

Cependant, la plupart des travaux menés sur les interactions entre urbanisation, environnement et santé dans les pays en développement, et ayant développé d'importants notions qui peuvent permettre la mise en place des programmes de grande envergure d'ordre sanitaire et environnemental, restent méconnus de la communauté scientifique et des décideurs politico-administratifs dans bien des pays africains, dont la RDC. Pourtant, l'est de ce dernier pays étant soumis à une situation de guerres à répétition depuis plus de deux décennies, connaît un dépeuplement de milieux ruraux où l'Etat a un mal permanent à asseoir son autorité, et un afflux de déplacés vers les villes devenues des îlots de sécurité et de stabilité. Ainsi, la ville de Bukavu ressemble à un agglomérat de quartiers urbains défavorisés où les populations dans leur grande majorité vivent dans des habitations aux conditions médiocres et insalubres. C'est dans ce contexte que s'explique la présence dans la ville, de la prévalence des maladies liées à l'eau. A titre illustratif, les rapports annuels de l'IPS/Sud-Kivu et de l'Hôpital Général Provincial de Référence de Bukavu (2013) montrent l'ampleur des maladies liées à l'eau sur la morbidité et la mortalité dans la ville de Bukavu, comme l'ont indiqué les tableaux 4 et 5 au chapitre 2.

En effet, pour rejoindre Forget et Lebel (2001), chacun des éléments relatifs à l'eau, l'assainissement et la santé mobilise des facteurs tant économiques, sociaux, politiques qu'environnementaux, qui sont susceptibles de se moduler les uns les autres et d'influencer des aspects d'autres éléments. Sur fond de cette considération, l'étude de ces questions dans le contexte du développement suggère que l'écosystème ne soit pas considéré isolément mais, plutôt, comme un système hiérarchiquement lié allant de l'environnement local vers le niveau global. Or, la dégradation de l'environnement fait suite à l'interaction complexe de comportements et de choix sociaux, politiques et économiques (Forget et Lebel, 2001). Pour ces raisons, une approche holistique s'impose pour aborder les domaines multiples qui influencent l'état de santé, le mieux-être et la maladie dans ces écosystèmes. C'est pourquoi, à l'instar des travaux expérimentaux réalisés au laboratoire au cours de nos recherches doctorales, nous avons jugé crucial d'aller au contact des populations afin de comprendre la façon dont elles s'approvisionnent en eau potable et gèrent les effluents qu'elles génèrent. Ces contacts ont permis de percevoir leur opinion par rapport à cette

gestion et l'impact de cette dernière sur leur santé, ainsi que les moyens en leur disposition. En somme, il s'est agi d'évaluer le niveau d'accessibilité de la population à l'eau potable et à l'assainissement par la méthode des enquêtes dans le but de mettre en exergue les risques potentiels relatifs aux pratiques managériales qui caractérisent les ressources aquatiques dans cette ville de RDC.

4.2 Matériel et méthodes

4.2.1 Zone d'étude

Les enquêtes ont porté sur les 3 communes administratives qui forment la ville de Bukavu: Bagira, Ibanda et Kadutu. Traditionnellement, la commune d'Ibanda constitue Bukavu "utile" où sont concentrés les quartiers résidentiels et toutes les structures politico-administratives, tandis que Bagira et Kadutu forment les communes populaires. Cependant, la dynamique que subit la ville bouleverse cette organisation traditionnelle par l'érection des quartiers spontanés et sauvages dans toutes les communes (Figure 15).



Figure 15. Vues aériennes de quartiers Nyalukemba (gauche) et Nyamugo (droite) (Sources: Bukavu-on line et Cluster wash-Bukavu)

Ne pouvant pas réaliser cette étude sur l'ensemble de l'étendue de la ville, 3 quartiers ont été retenus à raison d'un quartier par commune. La réalisation de l'étude a requis une démarche comprenant les étapes suivantes: élaboration du questionnaire d'enquête, formation des enquêteurs, échantillonnage et déroulement des enquêtes, dépouillement, puis traitement de données.

4.2.2 Enquête-ménages

4.2.2.1 Elaboration du questionnaire

Le questionnaire utilisé pour cette enquête est obtenu après modification et reformulation d'une base de données utilisée à l'Unité Assainissement et Environnement du Campus d'Arlon, dont les questions abordées touchent aux aspects "eau, assainissement et santé". Les principaux volets du questionnaire comprennent: Identification de l'enquêté, Sources d'approvisionnement en eau et usages, Hygiène et assainissement, Maladies hydriques,

Accessibilité à la maison, Assainissement individuel ainsi que les guides d'entretien avec les responsables des centres de santé et les autorités politico-administratives des quartiers concernés.

Ces différents volets ont joué, chacun en ce qui le concerne, des rôles précieux pour l'obtention des informations sur la problématique de l'eau à Bukavu: le volet "Identité" a juste permis de localiser l'enquêté; le volet "Sources d'approvisionnement en eau et usages" renseigne sur les modes d'approvisionnement en eau et d'usages de l'eau; le volet "hygiène et assainissement" informe sur les pratiques d'hygiène et d'évacuation des eaux et ordures dans les ménages; le volet "Maladies hydriques" s'attèle aux types de maladies liées à l'eau; le volet "Assainissement individuel" renseigne sur les ouvrages d'assainissement utilisés ainsi que les genres d'activités qui y sont liées.

4.2.2.2 Formation des enquêteurs

L'enquête-ménage réalisée dans nos recherches a bénéficié de l'intervention de 3 environnementalistes (anciens étudiants de l'Université Officielle de Bukavu). Une formation préalable aux activités d'enquêtes s'est avérée nécessaire pendant 2 matinées, afin de les imprégner dans la méthodologie à suivre et d'élucider les termes techniques contenus dans le questionnaire.

4.2.2.3 Critère d'échantillonnage

Les 3 quartiers ont été choisis en fonction du standing de chacun d'eux: Ndendere (commune d'Ibanda) à dominante résidentielle (haut standing), Lumumba (commune de Bagira) à caractère moyen standing et Nyamugo (commune de Kadutu) à dominante bas standing. Le quartier à haut standing comprend généralement de grandes parcelles, des maisons faites des matériaux durables et à côté desquelles on trouve des cours relativement importantes et parfois des jardins. La plupart de ces maisons sont habitées par des ménages unifamiliaux qui possèdent souvent des moyens de communication (entendu par là les voitures). Cependant, à cause d'une politique non appréciable dans le ressort d'urbanisme et habitat, le morcellement anarchique des parcelles atteint même ce quartier, et on peut remarquer l'intrusion des maisons en semi - durable dans des endroits impropres à la construction, la pratique qui altère beauté et confort traditionnels du quartier. Le quartier à moyen standing comprend les maisons en matériaux durables, souvent jumelées et habitées par plus d'un ménage, avec des cours très étroites. Par contre, le quartier à bas standing est une agglomération populaire au vrai sens de mot, et comprend un réseau de petites maisons précaires faites généralement en matériaux semi-durables et construites dans la plupart des cas, jusque sur l'emprise des routes (ruelles) ou même sur les ouvrages de drainage. L'occupation des sols reflète une anarchie indescriptible qui donne l'aspect de la quasi-absence de l'autorité de l'Etat dans le quartier.

4.2.2.4 Echantillonnage et déroulement des enquêtes

En vue d'échantillonnage, on trouve une diversité de méthodes, regroupées en deux catégories: probabilistes et non probabilistes. Chaque catégorie comprend ses particularités (avantages et désavantages) et s'adapte à des situations déterminées. A la lumière de ces précisions, la présente recherche a réalisée grâce à un échantillonnage non probabiliste par quota, dont le principe vise à obtenir dans l'échantillon, une représentativité suffisante des aspects sociodémographiques et d'autres importantes variables caractérisant la population-cible. Cette méthode a l'avantage d'être moins coûteuse et rapide, autorisant de remplacer un sondé par un autre qui a les mêmes caractéristiques sociodémographiques. Ainsi, l'échantillon a été construit suivant un modèle réduit de population en fonction des critères de quotas prédéfinis, notamment haut - moyen - bas standings. Le principe d'échantillonnage de Nordtest (1995) cité par Aloueimine (2006) a permis de fixer le taux d'échantillonnage à 0,013 pour parvenir à une erreur standard de 5%. Ainsi, pour un total de 1000 ménages, 13 sont choisis.

Etant donné qu'à Bukavu, il est établi en moyenne 8 personnes par ménage (IPS, 2012), la ville comprend 100072 ménages dont 5105 ménages au quartier Nyalukemba (Nguba) à la commune d'Ibanda, 8687 ménages au quartier Nyamugo (commune de Kadutu) et 4391 ménages au quartier Lumumba (commune de Bagira). Au prorata du nombre des ménages par quartier, les proportions respectives de 28,1%, 47,8% et 24,1% pour Nguba (Ibanda), Nyamugo (Kadutu) et Lumumba (Bagira) ont été considérées. Tenant compte de cet aspect, le nombre des ménages enquêtés par quartier est présenté comme suit: Lumumba/Bagira avec 57 ménages, Nguba/Ibanda avec 66 ménages et Nyamugo/Kadutu avec 113 ménages. En somme, l'enquête a porté sur 236 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. Commencé le 20 février 2013, l'enquête a pris fin le 20 mars 2013, soit 1 mois du déroulement. Dans chaque quartier retenu, les parcelles (ménages) enquêtées sont tirées au hasard. Pour chaque ménage enquêté, c'est le chef de ménage qui est en principe écouté mais parfois en cas d'absence du chef de ménage ou du fait qu'il soit illettré, c'est plutôt un des enfants qui répond ou qui se charge de la traduction.

4.2.2.5 Dépouillement des résultats

Le dépouillement des fiches d'enquête a été effectué par nos soins. Les résultats ont été encodés dans une base de données ACCES® et une analyse statistique de ces résultats a été menée à l'aide des logiciels STATISTICA 6.0 et Excel 2010.

4.2.2.6 Limites de la méthode

La démarche méthodologique choisie pour mener cette enquête présente un certain nombre de limites notamment (i) la taille de l'échantillon qui ne correspond pas aux exigences d'une étude sociologique approfondie qui demanderait un échantillonnage allant

jusqu'à 10-25% de la population, cela relevant des contraintes financières, logistiques et temporelles, et (ii) le biais entachant l'enquête et lié à l'indisponibilité des chefs de ménage en particulier les jours ouvrables de la semaine, aux difficultés de traduction du questionnaire rédigé en français, et à une certaine réticence à répondre à quelques questions d'ordre personnel (par incompréhension ou crainte de représailles) ou considérées comme tabous.

4.2.2.7 Elaboration d'une base de données

Dans le cadre de cette étude, il a été créé un outil de travail intéressant, en l'occurrence une base de données, qui permet de regrouper, stocker et analyser diverses données dans un fichier. Il s'agit d'une base de données Access®, reprenant les différentes composantes du formulaire d'enquête (Figure 16).

Figure 16. Aspect général de la base des données

Si les formulaires sont conçus pour permettre l'affichage des données à l'écran afin de simplifier la saisie ou la recherche de l'information enregistrée, les tables renferment les différentes catégories d'informations émargées dans le questionnaire d'enquête et représentent des objets qui contiennent les données stockées. Ainsi, les colonnes représentent les champs et chaque ligne constitue un enregistrement contenant les propriétés relatives à un ménage. L'exécution de l'encodage peut se faire en format formulaire ou en format feuille. On peut à volonté, utiliser conjointement les différentes bases de données, facilitant ainsi la saisie des données, la recherche de l'information ainsi que le traitement par confrontation de diverses rubriques.

4.2.2.8 Traitement de données

Les données ont été soumises aux analyses de la statistique descriptive. Les croisements des variables en lien avec notre variable d'intérêt qu'est le mode d'assainissement, ont été réalisés en prenant soin de procéder à la vérification de l'écart à l'indépendance par la méthode du test de Khi-2 de Pearson. Cette démarche a conduit à générer des tableaux susceptibles d'éclairer notre raisonnement par rapport à la situation sanitaire prévalant dans notre zone d'étude.

4.2.3 Calcul de l'indicateur global d'ANC

Au sein de notre unité Assainissement et Environnement/ULg, Bigumandondera (2014) a mis au point dans le cadre de sa thèse, un indicateur global d'évaluation de l'assainissement non collectif résultant de la combinaison des indicateurs issus des trois maillons de la chaîne d'ANC. En effet, cet indicateur vise à refléter la réalité de la situation concrète du terrain dans les pays en développement où plusieurs technologies sont utilisées au regard de différents maillons d'une chaîne d'assainissement. En vue d'évaluer les aspects relatifs à l'ANC dans la ville de Bukavu, nous allons appliquer cette démarche méthodologique que nous tenons à présenter dans les lignes qui suivent. Retenons que l'établissement de l'indicateur global d'ANC se fonde sur les principes du génie sanitaire qui consiste en un traitement intégral des eaux usées domestiques (eaux noires et eaux grises) et excréta avant leurs rejets dans la nature), et de l'analyse multicritère permettant un classement de systèmes d'ANC usuels dans les ménages.

Globalement, la méthodologie utilisée comprend trois phases: (i) Élaboration d'indicateurs correspondant aux trois maillons de la chaîne d'ANC, ainsi que des alternatives de chacun de ces indicateurs. Les alternatives sont choisies en fonction des pratiques de l'ANC des pays en développement et suivant les choix réalisés par les ménages à différentes étapes caractérisant le management des eaux usées et des excréta; (ii) Classement des alternatives pour chaque indicateur, en utilisant la méthode d'élimination et choix traduisant la réalité I ou ELECTRE I.

Ce classement se fait en trois étapes, dont l'élaboration des critères d'évaluation des alternatives propres à chacun des indicateurs, l'affectation d'une note de performance où chaque alternative est jugée en fonction de chaque critère, l'utilisation du tableau de performance obtenu à l'étape précédente pour classer les différentes alternatives en appliquant ELECTRE I; (iii) Application du classement fourni par ELECTRE I aux données de l'enquête-ménage réalisée dans la ville de Bukavu. Celles-ci traduisent les choix adoptés par chacun de ménages parmi les diverses alternatives pouvant être employées dans le management des eaux usées générées au sein des habitations.

Cela vaut autant pour chacun des indicateurs pris en compte. Relevant des trois maillons de la chaîne d'ANC, ces indicateurs sont ensuite agrégés en un indicateur unique de synthèse (indicateur global d'ANC) en recourant au *Composite Programming* qui positionne les

différents ménages sur une échelle en fonction des performances sanitaires et environnementales du système d'assainissement utilisé par le ménage.

Mentionnons que l'approche méthodologique suivie, telle que rencontrée dans les travaux de Bigumandondera (2014), en ce qui concerne l'établissement de l'indicateur global d'assainissement non collectif, s'est appuyée sur la méthode de Saaty, celle d'ELECTRE, ainsi le Composite Programming. Mais à la différence avec le schéma de Bigumandondera, notre approche a utilisé ELECTRE I en lieu et place d'ELECTRE II.

En guise de rappel, la méthode de Saaty (Saaty, 1986; Saaty, 1990; Boreux, 2003) consiste en la hiérarchisation des critères, du plus important au moins important, en se référant à l'échelle de Saaty, qui permet de quantifier l'importance accordée aux différents critères.

A ce sujet, la méthode de Saaty a servi pour pondérer les critères sur lesquels a été fait le classement des alternatives des indicateurs I1, I3, I4, I5 et I6, et également pour attribuer des poids aux différents états ayant permis le calcul de l'indicateur I2; la méthode d'ELECTRE I, dont le but est de classer les alternatives potentielles depuis les meilleures jusqu'aux moins bonnes, emploie les relations de surclassement (forts et faibles) construites à partir d'une matrice de concordance qui, à son tour, est générée à partir du tableau de performance issu d'un compromis entre les divers acteurs.

Les surclassements forts dénotent des bases solides de la situation et sont prioritairement employés pour classer les alternatives. Etant donné que l'outil n'admet pas d'ex aequo entre les alternatives, les surclassements faibles interviennent pour départager ces alternatives que les surclassements forts trouvent équivalents (Maystre *et al.*, 1994).

Nous tenons à préciser que la construction des tableaux de performance (pour chacun des indicateurs) dans notre étude, a été réalisée à la lumière de la documentation qui couvre ce domaine; le Composite Programming (Boreux & Parent, 2006), qui constitue la somme pondérée compensée procédant par regroupements successifs des indicateurs jusqu'à obtenir un indicateur unique de synthèse, et qui fonde le classement sur la notion de distance (distance Euclidienne).

4.3 Résultats et discussion

4.3.1 Caractéristiques générales des ménages enquêtés

Les ménages de la ville de Bukavu à travers les résultats des enquêtes menées, affichent une image variée de la vulnérabilité sanitaire à laquelle ils sont exposés (Tableau 12).

Tableau 12. Ouvrages d'assainissement, lieux de déversement des eaux résiduaires, approvisionnement en eau de boisson et catégorie sociale

Caractéristiques de la zone d'étude		% des ménages par commune		
		Bagira	Ibanda	Kadutu
Ouvrage d'ANC	Toilette moderne	15,8	97,0	3,5
	Latrine à chasse manuelle	43,9	3,0	12,4
	Latrine à canon	-	-	72,6
	Latrine traditionnelle	40,3	-	11,5
Déversement des eaux résiduaires	Caniveaux	61,4	15,1	84,1
	Rivières	10,5	-	7,1
	Cour de la maison	8,8	25,8	1,8
	Puits perdants	5,3	56,1	3,5
	Sur les voies	14	3	3,5
Approvisionnement en eau de boisson	Organisme public	96,5	85,2	84,7
	Fontaine publique	3,5	-	10,8
	Lac	-	8,2	-
	Autres	-	6,6	4,5
Catégorie sociale	Haut standing	-	65,2	-
	Moyen standing	73,7	34,9	11,5
	Bas standing	26,3	-	88,5

Pour appel, le classement des ménages en différents standings a été fait sur base des critères repris au point 5.2.2.3. Du tableau 12, les ménages en commune de Bagira, pratiquent principalement l'utilisation des latrines à chasse manuelle (43,9%), alors que l'emploi des toilettes modernes et celui des latrines à canon dominant largement et respectivement dans les communes d'Ibanda (97%) et de Kadutu (72,6%). Par ailleurs, les caniveaux, initialement conçus pour l'évacuation des eaux pluviales, constituent les principaux lieux de déversement des eaux résiduaires ménagères produites dans les communes de Bagira (61,4%) et de Kadutu (84,1%), tandis que les puits perdants sont les ouvrages récepteurs les plus utilisés par les ménages dans la commune d'Ibanda (56,1%). En rapport avec l'approvisionnement en eau de boisson, l'organisme public (REGIDESO) est le principal pourvoyeur en eau utilisée par les ménages de la ville de Bukavu, dont les standings de vie se diffèrent selon les communes: Bagira abrite essentiellement les ménages à moyen standing (73,7%), la commune d'Ibanda est dominée par les ménages à haut standing (65,2%) et celle de Kadutu abrite les ménages à faible standing (88,5%). Par ailleurs, la proportion des niveaux d'instruction la plus élevée dans la ville de Bukavu, se trouve à la commune d'Ibanda, suivie de Bagira, puis de Kadutu qui arrive en dernière position (Figure 17). Le niveau d'instruction est une donnée intéressante d'autant plus que le management de l'ANC en RDC, à l'instar de beaucoup d'autres pays en développement (OMS/UNICEF, 2000; Bigumandondera, 2014), est l'apanage des ménages.

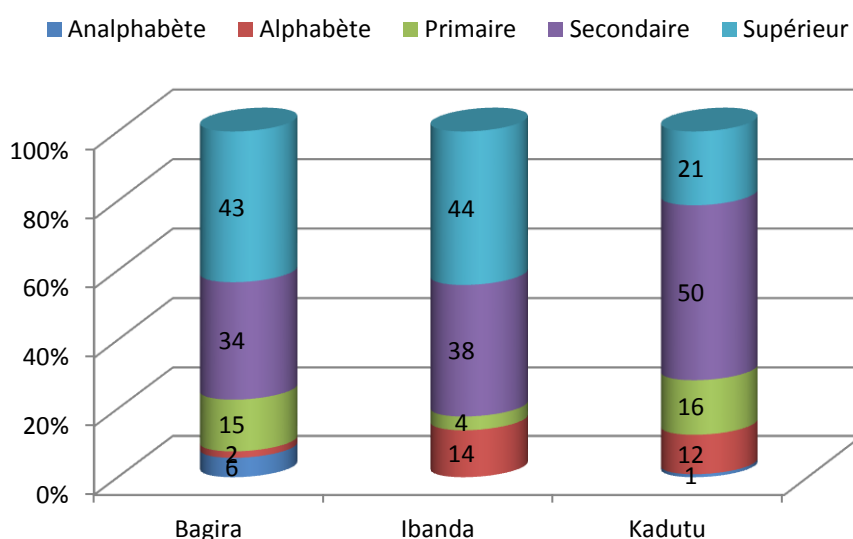


Figure 17. Proportions des niveaux d'instruction des chefs de ménages enquêtés

En effet, la compréhension de la problématique des pollutions requiert un certain niveau d'éducation, surtout, chez le chef du ménage qui est susceptible d'influer sur le comportement de ses dépendants afin d'éviter les risques sanitaires et d'adopter un comportement responsable dans l'optique de mise en conformité des systèmes adéquats d'assainissement. Aussi, ces résultats rencontrent ceux de Sy *et al.* (2014) et de Bigumandondera (2014) qui soulignent le parallélisme qui caractériserait les conditions socio-économiques et les niveaux d'instruction: plus on étudie, plus on a la chance d'avoir un emploi qui permette d'améliorer les niveaux de vie.

4.3.2 Traitements croisés des résultats d'enquête

En vue de permettre une bonne compréhension de la problématique de l'assainissement dans la ville de Bukavu, nous avons procédé aux analyses croisés entre quelques variables. Cette façon de faire paraît réaliste afin d'éviter le cheminement traditionnel en vogue dans les pays en développement, qui consiste à se concentrer sur les ouvrages de l'ANC en lieu et place de considérer toute la filière, de l'amont (collecte et stockage) en aval (dépotage et/ou traitement) en passant par le maillon intermédiaire qu'est l'évacuation. Ces traitements permettront de dégager les éventuelles interactions et le degré de compatibilité entre les ouvrages utilisés et les conditions locales du milieu. Ainsi, le tableau 13 montre la relation entre les modes d'assainissement et les catégories sociales.

Tableau 13. Relation entre mode assainissement et catégorie sociale

Bagira	Mode assainissement / Catégorie sociale	Moyen standing	Bas standing	Totaux lignes
Effectif	Latrine traditionnelle	12	11	23
% total		21,0	19,3	40,3
Effectif	Latrine à chasse manuelle avec FS	22	3	25
% total		38,6	5,3	43,9
Effectif	Toilette moderne	8	1	9
% total		14	1,8	15,8
Effectif	Ts Grpes	42	15	57
% total		73,7	26,3	100
Chi ² de Pearson: 9,20350, dl=2, p=0,010034				

Ibanda	Mode assainissement / Catégorie sociale	Moyen standing	Haut standing	Totaux lignes
Effectif	Toilettes modernes avec FS	22	42	64
% total		33,3	63,6	96,9
Effectif	Latrines à chasse manuelle avec FS	1	1	2
% total		1,5	1,50	3
Effectif	Ts Grpes	23	43	66
% total		34,9	65,1	100
Chi ² de Pearson: 0,208544, dl=1, p=0,647911				

Kadutu	Mode assainissement / Catégorie sociale	Moyen standing	Bas standing	Totaux lignes
Effectif	Latrine traditionnelle	1	12	13
% total		0,9	10,6	11,5
Effectif	Latrine à canon	2	80	82
% total		1,8	70,8	72,6
Effectif	Latrine à chasse manuelle avec FS	6	8	14
% total		5,3	7,1	12,4
Effectif	Toilette moderne	4	0	4
% total		3,5	0	3,5
Effectif	Ts Grpes	13	100	113
% total		11,5	88,5	100
Chi ² de Pearson: 51,0913, dl=3, p=0,00000				

A Ibanda, deux catégories sociales caractérisent les ménages, notamment le haut standing (65,1%) et le moyen standing (34,9%). Tous les ouvrages de recueil d'excréta dans cette commune, sont reliées à la fosse septique, avec une nette domination de toilettes modernes (96,9%). En commune de Bagira, deux catégories sociales sont signalées, dont le moyen standing (73,7%) et le bas standing (26,3%). Par contre, Kadutu est la commune où vivent principalement les ménages de bas standing (88,5%) à côté desquels on trouve également

ceux de moyen standing (11,5%). Les modes d'assainissement les plus utilisés dans ces deux communes (Bagira et Kadutu) sont respectivement la toilette à chasse manuelle avec fosse septique (43,9%) et la latrine à canon (72,6%). Ces résultats appuient la considération selon laquelle Ibanda est une commune à dominante haut standing, Bagira est celle à dominante moyen standing, tandis que Kadutu abrite des ménages de bas standing. Avec la valeur de p inférieure à 0,05 pour Bagira ($p=0,010034$) et Kadutu ($p=0,00000$), il y a une relation entre les modes de l'assainissement et les standings des populations. L'utilisation des modes d'assainissement dans chacune de communes va dans le même sens que les données sur les niveaux d'instruction des chefs de ménages. En effet, nos résultats sont similaires à ceux de Bigumandondera (2014) qui a attesté que plus le chef du ménage a un niveau d'instruction élevé, plus il a la chance d'exercer un emploi rémunéré et a tendance à occuper une maison qui dispose d'une toilette moderne avec fosse septique. Aussi, on peut se permettre de dire que les ménages de Kadutu en général et ceux de Bagira à une certaine proportion, sont caractérisés par une vulnérabilité qui peut s'appréhender à deux niveaux: au niveau socio-économique comme à celui d'exposition aux risques sanitaires. En fait, la vulnérabilité aux risques environnementaux et sanitaires liés à l'eau et à l'assainissement, peut se comprendre comme le résultat de la précarité des conditions socio-économiques (Salem, 1998; Sy *et al.*, 2014). Aussi, de manière générale, il est admis, comme soulevé par OMS-UN Habitat (2010) que les investissements sociaux dans le domaine de l'eau et de l'assainissement qui coûtent cher pour les ménages, ne soient pas une priorité pour les occupants de logements précaires dans des quartiers défavorisés. A ce sujet, il sied tout de même signaler qu'il est des ménages parmi ceux classés moyen standing, spécialement à Ibanda et suite à leur niveau d'instruction, utilisent des installations d'assainissement améliorées à l'instar de la fosse septique.

Par ailleurs, l'accès à l'eau courante constitue une condition nécessaire aux usages qui permettent de prévenir les maladies liées à l'eau. Pour remplir effectivement ce rôle, celle-ci doit être accompagnée par des pratiques d'hygiène (OMS/UNICEF, 2000). L'eau courante assure l'augmentation des quantités d'eau disponible au sein des ménages, et permet de diminuer, de ce fait, les risques de contamination de l'eau de boisson, ce qui constitue deux des éléments prépondérants d'une meilleure prévention du péril fécal (Carr et Neary, 2008). Cependant, on doit quand même garder à l'esprit que du point de vue génie sanitaire, la disponibilité de l'eau au niveau de ménages est susceptible d'augmenter parallèlement le volume des eaux usées à rejeter, requérant des adaptations des systèmes d'ANC à mettre en place en guise de leur traitement.

Dans cet élan, la source d'approvisionnement est un paramètre important dans la distribution et le choix des ouvrages d'assainissement (Tableau 14).

Tableau 14. Relation entre mode d'assainissement et source d'approvisionnement en eau

Bagira	Mode Assainissement \ Approvisionnement eau	Fontaine publique	RD(*)	Totaux lignes
Effectif	Latrine traditionnelle	2	21	23
% total		3,5	36,8	40,3
Effectif	Latrine à chasse manuelle	0	25	25
% total		0,0	43,9	43,9
Effectif	Toilette moderne avec FS	0	9	9
% total		0,0	15,5	15,8
Effectif	Ts Grpes	2	55	57
% total		3,5	96,5	100
Chi² de Pearson: 0,357888, dl=2, p=0,836153				

(*) : Robinet à Domicile

Ibanda	Mode assainissement \ Approvisionnement eau	RD(*)	Lac	Autres	Totaux lignes
Effectif	Toilettes modernes avec FS	50	5	4	59
% total		82,0	8,2	6,5	96,7
Effectif	Latrines à chasse manuelle avec FS	2	0	0	2
% total		3,3	0,0	0,0	3,3
Effectif	Ts Grpes	52	5	4	61
% total		85,2	8,2	6,6	100
Chi² de Pearson: 0,208544, dl=1, p=0,647911					

Kadutu	Mode assainissement \ Approvisionnement eau	Fontaine publique	RD(*)	Autres	Totaux lignes
Effectif	Latrine traditionnelle	3	9	1	13
% total		2,7	8,1	0,9	11,7
Effectif	Latrine à canon	8	72	1	81
% total		7,2	64,9	0,9	73,0
Effectif	Latrine à chasse manuelle avec FS	1	11	2	14
% total		0,9	9,9	1,8	12,6
Effectif	Toilette moderne	0	2	1	3
% total		0	1,8	0,9	2,7
Effectif	Ts Grpes	12	94	5	111
% total		10,8	84,7	4,5	100
Chi² de Pearson: 13,8103, dl=6, p=0,031829					

L'organisme public de production, distribution et commercialisation de l'eau, connu sous l'appellation de REGIDESO, est le plus grand pourvoyeur de l'eau de boisson dans la ville de Bukavu. La commune de Bagira est la plus desservie car 96,5% de ses ménages utilisent l'eau de la REGIDESO et affirment avoir moins de soucis concernant l'approvisionnement en eau.

En effet, la proximité de cette commune avec les installations de production d'eau de la REGIDESO et sa position géographique sur la trajectoire de ravitaillement de toute la ville en eau, constituent les importants atouts dont bénéficie Bagira pour le taux de ravitaillement.

En parallèle, la commune de Kadutu, en dépit de sa localisation subcentrique dans la ville, comprend une part importante de ménages qui accèdent relativement moins à l'eau de la REGIDESO. En effet, 84,7% des ménages seulement affirment utiliser pour la boisson, l'eau de cet organisme public qui leur assure un approvisionnement intermittent (pratique appelée délestage dans la ville de Bukavu). Les raisons imputables à cet approvisionnement en commune de Kadutu, seraient liées inéluctablement au coût (tarification), et à la topographie à un certain niveau. La faiblesse de l'accès à l'eau et le niveau de vie de Kadutu feraient que 81% de ses ménages choisissent les latrines à canon, dont les tuyaux sont directement orientés vers un drain d'eau ou une rivière. Par contre, la commune d'Ibanda semble être la moins favorisée naturellement.

En fait, la distance et la topographie de cette dernière commune seraient à la base du faible approvisionnement en eau qui y prévaut. Cette donnée topographique conduit à la nécessité de doter le réseau d'approvisionnement de différentes stations de relevage en vue d'augmenter le débit et de permettre le ravitaillement de cette commune à dominante haut standing. Du fait que les ménages de Bukavu utilisent plusieurs sources d'eau de boisson, nous pouvons affirmer que ces résultats sont en adéquation avec ceux de MICS2 (2002) et PNUE (2014) qui signalent le caractère multiple des sources d'eau utilisée par les populations des villes congolaises, dont Bukavu.

Aussi, sachant qu'une personne a un accès facile à une eau de boisson de qualité à condition d'en disposer sur place ou dans les 15 minutes, ou à moins de 100 mètres du logement (MICS2, 2002), nous pouvons affirmer que la quasi-totalité des ménages de Bagira jouit de ce privilège, à l'opposé des ménages de communes d'Ibanda ou de Kadutu, dont les ménages sont souvent tenus de parcourir de longues distances en quête d'eau, vu le "délestage" qu'ils subissent. Ceci est en adéquation avec la littérature (OMS/UNICEF, 2015; UNEP, 2011) qui déplorent l'évolution du caractère limité d'accès à l'eau dans les entités urbaines congolaises.

Ainsi, l'eau de la REGIDESO est la forme la plus utilisée d'eau de boisson quelque soit le standing des ménages à Bukavu. Néanmoins, une frange de ménages (8,2%) habitant la commune huppée d'Ibanda, recourt au lac pour s'approvisionner directement en eau pour la boisson, moyennant un traitement, ou encore aux autres sources (eau embouteillée, la marque *Mugote* par exemple). En parallèle, 4,5% des ménages de Kadutu, n'hésitent pas à boire l'eau des autres sources non améliorées (puits et pluie).

En outre, on remarque une relation entre les modes d'assainissement dont disposent les ménages et les sources d'approvisionnement en eau dans la commune de Kadutu, car la

valeur de p ($p=0,031829$) est inférieure au seuil de significativité de 0,05, à l'opposé des communes de Bagira et d'Ibanda dont les valeurs de p sont supérieures au seuil précité.

Quel que soit le type d'approvisionnement en eau, les ménages des communes d'Ibanda utilisent principalement les toilettes modernes avec fosses septiques (96,7%), alors qu'à Bagira, à l'instar des toilettes modernes (15,8%), coexistent principalement l'emploi des toilettes à chasse manuelle (43,9%) et celui des latrines traditionnelles (40,3%). Au regard de ces résultats, on serait tenté d'affirmer particulièrement à Ibanda, qu'il n'y a aucune adéquation entre le système d'assainissement et l'approvisionnement en eau utilisés. De toute évidence, l'emploi des systèmes d'assainissement humides comme la fosse septique, exige de l'eau courante à domicile et ce de manière permanente.

Ainsi, l'approvisionnement intermittent de l'eau dans cette commune, dans le contexte de *délestage* prolongé et étalé en termes des jours, ne permet pas d'assurer cette adéquation. En dépit de la considération selon laquelle les latrines modernes constituent un signe de la réussite dans la vie (preuve de standing élevé), le recours aux systèmes comme les latrines VIP ou à double fosse, constituerait une bonne alternative dans ce contexte problématique de *délestage*.

En parallèle, l'utilisation des latrines à canon à Kadutu principalement, serait une pratique à déconseiller, au vu de tous les risques sanitaires et environnementaux liés au rejet de matières fécales dans les eaux de surface. Par ailleurs, dans une ville aussi dense et accidentée qu'est Bukavu, l'accessibilité au ménage est un facteur déterminant dans le choix du système de l'ANC à mettre en œuvre. Le tableau 15 reprend les croisements des modes d'assainissement et d'accessibilité aux ménages.

Tableau 15. Relation entre mode assainissement et accessibilité au ménage

Bagira	Mode Assainissement \ Type voie accès	Route en terre	Chemin piéton	Route goudronnée	Totaux lignes
Effectif	Latrine traditionnelle	11	12	0	23
% total		19,3	21,0	0,0	40,3
Effectif	Latrine à chasse manuelle avec FS	14	10	1	25
% total		24,6	17,5	1,8	43,9
Effectif	Toilette moderne	2	4	3	9
% total		3,5	7,0	5,3	15,8
Effectif	Ts Grpes	27	26	4	57
% total		47,4	45,6	7,0	100
Chi² de Pearson: 12,8081, dl=4, p=0,012253					

Ibanda	Mode assainissement \ Type voie accès	Route goudronnée	Route en terre	Chemin piéton	Totaux lignes
Effectif	Toilettes modernes avec FS	12	43	9	64
% total		18,2	65,1	13,6	97,0
Effectif	Latrines à chasse manuelle avec FS	0	1	1	3,0
% total		0	1,5	1,5	3
Effectif	Ts Grpes	12	44	10	66
% total		18,2	66,7	15,1	100
Chi² de Pearson: 2,11406, dl=2, p=0,347486					

Kadutu	Mode assainissement \ Catégorie sociale	Route goudronnée	Route en terre	Chemin piéton	Totaux lignes
Effectif	Latrine traditionnelle	0	1	12	13
% total		0	0,9	10,6	11,5
Effectif	Latrine à canon	0	7	75	82
% total		0	6,2	66,4	72,6
Effectif	Latrine à chasse manuelle avec FS	1	6	7	14
% total		0,9	5,3	6,2	12,4
Effectif	Toilette moderne	1	3	0	4
% total		0,9	2,6	0	3,5
Effectif	Ts Grpes	2	17	94	113
% total		1,8	15,0	83,2	100
Chi² de Pearson: 41,6787, dl=6, p=0,00000					

En commune d'Ibanda, les ménages sont majoritairement accessibles par la route en terre (66,7%) ou goudronnée (18,2%), formant 84,9% des ménages accessibles par ces types de voie de manière cumulée. En parallèle, 47,4% des ménages de Bagira sont accessibles par la route en terre, 7% des ménages accessibles par une route goudronnée, et 45,6% par le chemin piéton. Cependant, la plupart des ménages de Kadutu (83,2%) ne sont accessibles que par le chemin piéton. Au vu de ces résultats, l'accessibilité au ménage étant un facteur de grande importance en assainissement car conditionnant diverses interventions (entretien, vidange, etc.), les opérations relatives aux trois maillons d'une filière d'assainissement peuvent s'opérer facilement dans la commune d'Ibanda ou Bagira sous réserve d'une certaine adaptation, avec possibilité d'utilisation d'engins motorisés spécialisés. Par contre, il est difficile de mettre en place un tel système en commune de Kadutu où la plupart des ménages ne sont accessibles que par chemin piéton. Ces faits constituent des facteurs importants à prendre en compte avant la conception ou le démarrage de tout projet d'assainissement de mettre en place dans cette partie de la ville.

En plus, les valeurs de p affichées attestent qu'il y a relation entre les modes d'assainissement utilisés et l'accessibilité aux ménages de Bagira et de Kadutu mais pas en commune d'Ibanda où la valeur de p (p=0,271193) ne montre pas de liaison significative

Les caniveaux constituent le lieu le plus utilisé pour le déversement des eaux usées ménagères en communes de Bagira et de Kadutu où respectivement, 61,4% et 84,1% des ménages utilisent cette voie, pratique à laquelle recourent 15,1% seulement des ménages d'Ibanda, dont la majorité utilise les puits perdants (56,1%) ou les cours des maisons (25,8%).

Cette dichotomie tient au fait que les parcelles sont généralement grandes à la commune d'Ibanda par rapport aux communes de Bagira et Kadutu, et vu le haut standing en général affiché par ses habitants. Les moyens (finance, espace, etc.) sont apparemment réunis pour réaliser un système d'assainissement comprenant des ouvrages de collecte/stockage et d'élimination. L'aspect relatif à l'espace disponible constitue un réel facteur limitant pour la mise en œuvre d'un tel système à Kadutu et dans une moindre mesure à Bagira, où les ménages sont confrontés à un sérieux problème de promiscuité en raison de l'anarchie en matière foncière caractéristique de Bukavu.

Cependant, en dépit des atouts naturels et financiers mentionnés, la pratique en vogue est l'utilisation (à tort) de puits perdants comme ouvrage d'élimination. Pourtant, les puits perdants ne constituent pas un ouvrage ni de collecte/stockage, ni d'élimination des eaux usées; tout au moins, le rejet dans le puits perdant devrait être toléré après que les eaux usées aient transité dans la fosse septique.

Par ailleurs, dans les pays comme la France et la Belgique, les puits perdants sont interdits, même pour recevoir les eaux usées qui sortent de la fosse septique. Dans les PVD, on devrait aussi évoluer dans ce sens car le puits perdant ne joue pas le rôle de traitement qu'il devrait avoir. Une telle pratique occasionne plutôt un risque élevé de pollution de la nappe phréatique.

En outre, de par leurs pratiques, les ménages de Bukavu ont tendance à considérer les eaux grises ménagères comme moins dangereuses par rapport aux eaux noires, alors qu'en termes de flux polluants, la pollution associée aux eaux grises est supérieure, ou similaire à celle liée aux eaux noires. C'est pour cette raison qu'en Europe, la pratique de l'ANC prévoit que les eaux grises passent aussi par la fosse septique (notion de fosse « toutes eaux »).

Sur base de ce contexte, les tests croisés entre les deux variables (modes d'assainissement et rejets des eaux usées) montrent l'absence des relations dans les trois communes de Bukavu. En outre, nos résultats vont dans le même sens que ceux trouvés à Bujumbura par Bigumandondera (2014), en ce sens que les ménages à standings élevés ont tendance à utiliser principalement les puits perdants comme ouvrages récepteurs des eaux usées ménagères, alors que ceux des autres standings utilisent plutôt les caniveaux comme ouvrage de prédilection pour le rejet des leurs effluents.

Le tableau 17 montre les croisements entre les modes d'assainissement et les maladies fréquentes dans la ville de Bukavu.

Tableau 17. Relation entre mode d'assainissement et maladies fréquentes

Bagira	Mode assainissement	Maladies	Affections*	Diarrhée	Aucune	Autres	Totaux lignes
Effectif	Latrine traditionnelle		10	13	0	0	23
% total			17,5	22,8	0,0	0,0	40,3
Effectif	Latrine à chasse manuelle		10	9	5	1	25
% total			17,5	15,8	8,8	1,8	43,9
Effectif	Toilette moderne		5	2	2	0	9
% total			8,8	3,5	3,5	0,0	15,8
Effectif	Ts Grpes		25	24	7	1	57
% total			43,8	42,1	12,3	1,8	100
Chi ² de Pearson: 8,60992, dl=6, p=0,196733							

Affections* = affections gastro-intestinales

Ibanda	Mode assainissement	Maladies	Affections*	Diarrhée	Aucune	Autres	Totaux lignes
Effectif	Toilettes modernes avec FS		1	37	23	3	64
% total			1,5	56,1	34,8	4,6	97,0
Effectif	Latrines à chasse manuelle		0	1	0	1	2
% total			0,0	1,5	0,0	1,5	3,0
Effectif	Ts Grpes		1	38	23	4	66
% total			1,5	57,6	34,8	6,1	100
Chi ² de Pearson: 7,34087, dl=3, p=0,61791							

Affections* = affections gastro-intestinales

Kadutu	Mode Assainissement	Maladies	Affections*	Diarrhée	Aucune	Autres	Totaux lignes
Effectif	Latrine traditionnelle		2	10	0	1	13
% total			1,8	8,8	0,0	0,9	11,5
Effectif	Latrine à canon		24	54	2	2	82
% total			21,2	47,8	1,8	1,8	72,6
Effectif	Latrine à chasse manuelle		4	5	1	4	14
% total			3,5	4,4	0,9	3,5	12,3
Effectif	Toilette moderne		1	2	0	1	4
% total			0,9	1,8	0,0	0,9	3,6
Effectif	Ts Grpes		31	71	3	8	113
% total			27,4	62,8	2,7	7,1	100
Chi ² de Pearson: 18,0547, dl=9, p=0,034544							

Affections* = affections gastro-intestinales

Les maladies liées à l'eau étant courantes à Bukavu, la diarrhée est la plus importante et la plus répandue, touchant principalement les ménages des communes de Kadutu (62,8%) et

d'Ibanda (57,6%), et dans une moindre mesure ceux de Bagira (42,1%), indépendamment des standing de vie. Par ailleurs, il s'est avéré une relation entre les deux variables (modes d'assainissement et maladies) à Kadutu, alors que la relation n'est pas avérée à Bagira et Ibanda où les valeurs de p sont supérieures à 0,05.

Les affections gastro-intestinales viennent en seconde position après la diarrhée. Si l'écart paraît énorme entre la diarrhée et les affections gastro-intestinales, cela serait lié au fait que la plupart des atteintes gastro-intestinales produisent des selles liquides, ceci fait que le premier réflexe des enquêtés était d'incriminer la diarrhée, d'autant plus que bon nombre de patients ne se rendent pas toujours à l'hôpital et s'adonnent volontiers à l'automédication.

Aussi, malgré le caractère multifactoriel des causes de la morbidité diarrhéique, l'accès à l'eau et à l'assainissement constitue un facteur dont il n'est pas facile de dégager l'effet réel, surtout dans le cas de corrélation avec d'autres facteurs qui peuvent neutraliser l'effet de l'accès à l'eau et de l'assainissement, comme la situation socio-économique des ménages ou les variables comportementales comme les pratiques d'hygiène individuelles et collectives (Dos Santos et Legrand, 2007; Ngwe et Banza-Nsungu, 2007).

A titre illustratif, bien des ménages de Kadutu particulièrement, comprennent de logements précaires dépourvus de cuisine, d'installations sanitaires améliorées et sont privés d'approvisionnement régulier en eau. Aussi les ménages font-ils la cuisine souvent en plein air avec les risques de contamination des aliments par les mouches, rats et cafards transportant des pathogènes en provenance probable de zones de défécation. Dans cette optique, on peut aussi déplorer l'élimination non adéquate des matières fécales et diverses pratiques qui polluent l'eau consommée par les habitants (Gagneux *et al.*, 1999).

Fort de ces précisions, les résultats de nos enquêtes peuvent être étayés par le rapport de l'hôpital provincial général de référence de Bukavu (HPGRB), l'une des structures hospitalières importantes de la ville, qui a enregistré en 2012, 1720 cas du paludisme, 343 cas de verminose, 81 cas d'amibiase, 18 cas de fièvre typhoïde, et 887 cas du choléra dont la fréquence avait augmenté de 6 % par rapport au bilan de 2011. Encore que, faute de moyens financiers ou sous l'influence de médecine traditionnelle, une frange considérable de populations s'adonne volontiers à l'automédication, ce qui fait que beaucoup de cas de maladies ou de morbidité ne sont pas déclarés et sont ainsi non répertoriés dans les statistiques de l'IPS (2013).

Globalement, les résultats de cette enquête socio-économique conduisent à considérer la ville de Bukavu comme un espace potentiellement épidémiogène. En les confrontant avec les données des rapports annuels de l'IPS et de HPGRB, l'on peut se faire l'idée de la situation épidémiologique prévalant dans la ville de Bukavu par rapport aux indicateurs sanitaires.

Cependant, les facteurs environnementaux peuvent constituer des indicateurs permettant de lire la vulnérabilité sanitaire de l'espace sans que celle-ci ne se traduise dans la réalité si la population à la base est bien consciente des enjeux liés à l'hygiène et se protège à la suite d'actions de sensibilisation (Dos Santos et Legrand, 2007).

Le tableau 18 fournit l'état du confort qui caractérise les latrines dans les différents ménages de Bukavu.

Tableau 18. Confort de latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes

	Commune	Odeur	Autres	Pas d'intimité	Insécurité	Totaux lignes
Effectif	Bagira	13	36	7	1	57
%		5,5	15,3	3,0	0,4	24,2
Effectif	Ibanda	1	65	0	0	66
%		0,4	27,5	0,0	0,0	27,9
Effectif	Kadutu	79	17	13	4	113
%		33,5	7,2	5,5	1,7	47,9
Effectif	Ts Grpes	93	118	20	5	236
%		39,4	50,0	8,5	2,1	100

Chi² de Pearson: 125,638, dl=6, p=0,00000

Les résultats ont permis de montrer que 50% des ménages enquêtés bénéficient d'un aspect appréciable (autres=appréciable) du confort. Il s'agit principalement des latrines des ménages d'Ibanda (98,5%) et de Bagira (63,2%) comme c'est signalé dans la figure 18, alors qu'environ 70% des latrines de ménages de Kadutu exhalent de mauvaises odeurs et ce qui est signe de dégradation de cadre de vie. Aussi, il y a une forte significativité entre les différentes variables.

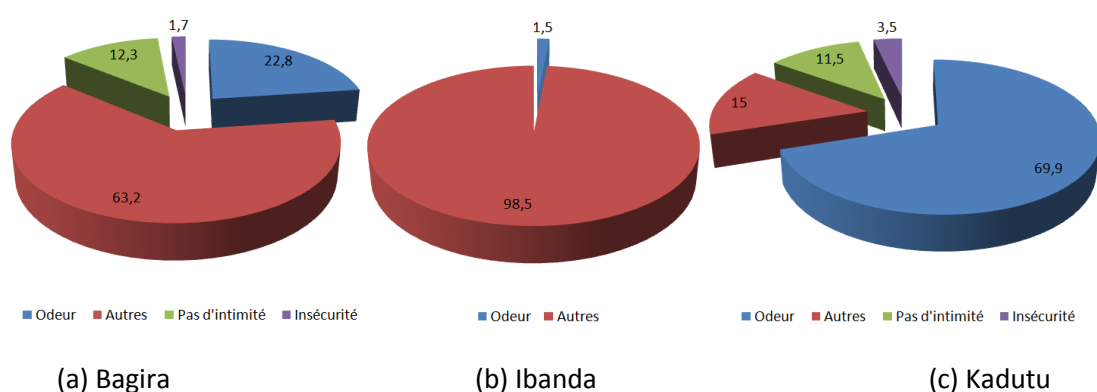


Figure 18. Confort de latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes

Le tableau 19 révèle que, globalement, l'hygiène des latrines constitue un leitmotiv dans les ménages de Bukavu (58,5%), preuve de la conscientisation de la population à travers de nombreuses campagnes menées par les structures sanitaires étatiques et les organisations non gouvernementales.

Tableau 19. Hygiène de latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes

	Commune	Eaux usées	Autres	Proximité	Rat, cafard	Totaux
Effectif	Bagira	6	41	3	7	57
%		2,5	17,4	1,3	3,0	24,2
Effectif	Ibanda	0	65	0	1	66
%		0,0	27,5	0,0	0,4	27,9
Effectif	Kadutu	10	32	37	34	113
%		4,2	13,6	15,7	14,4	47,9
Effectif	Ts Grpes	16	138	40	42	236
%		6,7	58,5	17	17,8	100
Chi² de Pearson: 96,5848, dl=6, p=0,00000						

Les différences portent sur des latrines colonisées par des mouches, rats et cafards (17,8%) ou celles qui jouxtent les dépôts des ordures (17%) ou des flaques d'eaux usées (6,7%). Avec la valeur de p inférieure à 0,05, la différence est hautement significative. L'observation de cette question à travers les communes de Bukavu (Figure 19) montre un état appréciable d'hygiène dans les latrines d'Ibanda (98,5%) et de Bagira (71,9%).

Par contre, les latrines de Kadutu font l'objet d'un déficit hygiénique en général. Cette observation va dans le sens des travaux de Bigumandondera (2014) qui mettent en exergue le standing des habitants comme une clé d'amélioration de conditions sanitaires, à l'instar des autres travaux (Sy *et al.*, 2014; OMS/UNICEF, 2010). Du fait que le fait seul d'observer l'hygiène des latrines n'est pas suffisant pour se soustraire aux risques sanitaires, il s'avère donc important de mettre en place une pratique adéquate des ouvrages connexes du maillon amont (fosse septique, puits perdant, etc.) et ceux de la suite du circuit d'assainissement, entendu les maillons intermédiaire et aval.

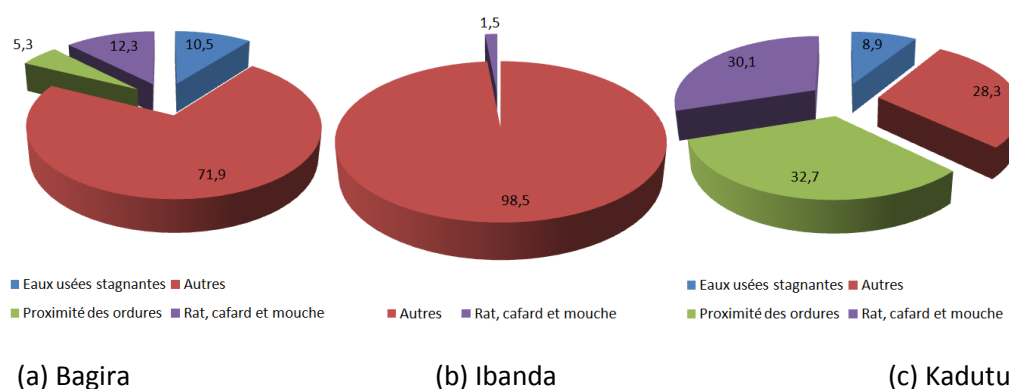


Figure 19. Hygiène de latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes

Cela étant, pour question de commodité et d'un management adéquat, l'accès aux latrines est un paramètre d'une grande importance (Tableau 20).

Tableau 20. Accessibilité aux latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes

	Commune	Accès	Autres	Accès sale	Ouvrage	Totaux
Effectif	Bagira	6	40	7	4	57
%		2,5	17,0	3,0	1,7	24,2
Effectif	Ibanda	0	65	1	0	66
%		0,0	27,5	0,4	0,0	27,9
Effectif	Kadutu	11	27	35	40	113
%		4,7	11,4	14,8	17,0	47,9
Effectif	Ts Grpes	17	132	43	44	236
%		7,2	55,9	18,2	18,7	100

Chi² de Pearson: 105,555, dl=6, p=0,00000

Les résultats de l'enquête montrent que 55,9% des ménages présentent des latrines facilement accessibles tandis que, de manière cumulée, 44,1% des ménages ont l'accès difficile ou sale, ce qui va dans le même sens que l'observation faite pour l'hygiène et le confort. Les analyses indiquent une différence significative entre les variables. Le standing est un paramètre de grande importance dans la répartition de l'accès aux latrines, les communes de haut standing (Ibanda) ou de moyen standing (Bagira) sont privilégiées par rapport à celle de bas standing ou Kadutu (Figure 20)

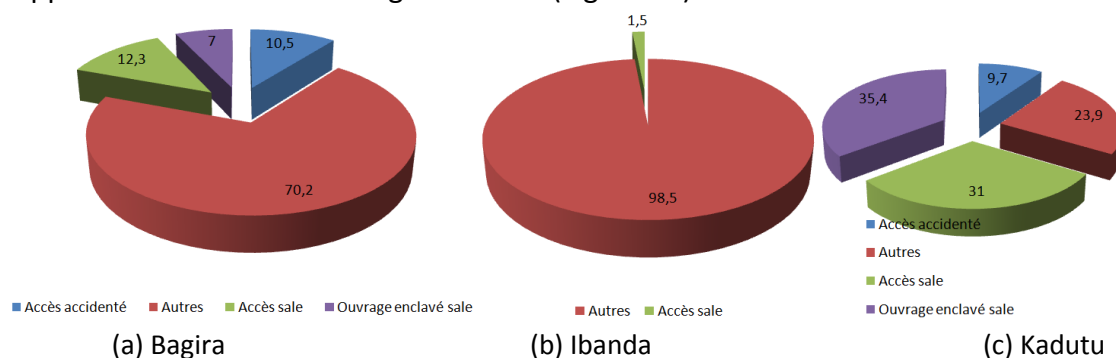


Figure 20. Accessibilité aux latrines des ménages de Bukavu en fonction de communes

Tableau 21. Choix d'actions liés au remplissage d'ouvrage d'assainissement par communes

	Commune	Vidange	Autres	Réalisation d'une autre fosse	Totaux lignes
Effectif	Bagira	43	12	2	57
%		18,2	5,1	0,9	24,2
Effectif	Ibanda	66	0	0	66
%		28,0	0	0	28,0
Effectif	Kadutu	28	81	4	113
%		11,8	34,3	1,7	47,8
Effectif	Ts Grpes	137	93	6	236
%		58,1	39,4	2,5	100

Chi² de Pearson: 107,605, dl=4, p=0,00000

Avec un p (p=0,00000) inférieur à 0,05 indiquant une forte significativité entre les variables (Tableau 21), le choix de prédilection des ménages de Bukavu consiste à la vidange (58,1%)

en cas de remplissage de fosse alors que la réalisation d'une autre fosse constitue le dernier choix (2,5%). En fait, vu la forte densité humaine dans la ville de Bukavu, estimée en 2009 à 15474,47 au km², entraînant la forte occupation du sol, l'espace est un facteur limitant dans cette ville, 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. Dans ce contexte d'étroitesse de parcelle, la tendance est d'occuper toute la parcelle par la maison, reléguant souvent les installations sanitaires en seconde position. Ce n'est pas étonnant de trouver les fosses septiques voire les puits perdants installés sous les fondations souterraines de quelques maisons à travers la ville.

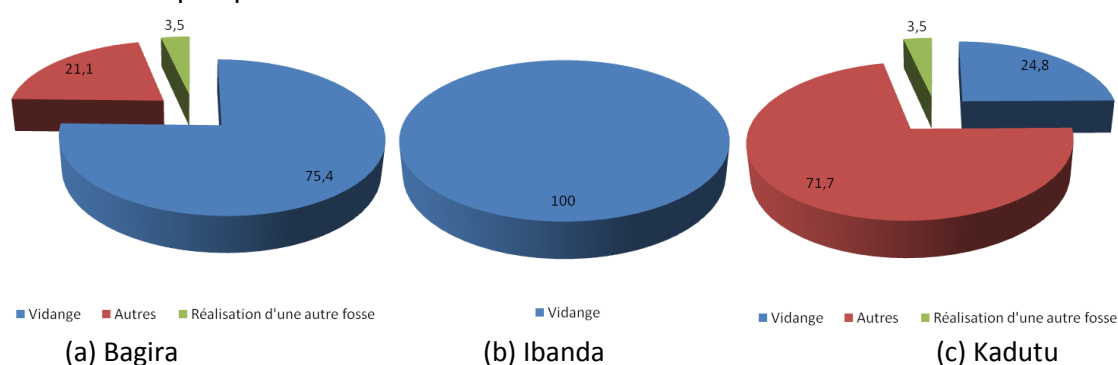


Figure 21. Alternatives en cas de remplissage des ouvrages d'assainissement à Bukavu

C'est ce qui justifierait la pratique de la vidange (Figure 21) notamment à Ibanda (100%) et Bagira (75,4%) au détriment de la réalisation d'une autre fosse (3,5% à Bagira et à Kadutu). Par contre, la pratique de "Autres" principalement à Kadutu (71,7%), commune à dominante bas standing, s'explique par l'emploi des latrines à canon, dont les tuyaux d'évacuation des excréments sont directement orientés vers les rivières ou caniveaux.

A l'instar des pratiques "Autres" entachées des risques sanitaires élevés et en rejoignant Bigumandondera (2014), nous pouvons affirmer que la réalisation d'une autre fosse à la suite du remplissage de la première fosse, constitue également une pratique à risque sanitaire, vu le contexte de la densité de la population très élevée à Bukavu. En effet, le nombre élevé de personnes par ménage habitant dans des petites parcelles à dimensions relativement minorées, occasionne un remplissage rapide des ouvrages d'assainissement, surtout que la structure des sols est à dominante argileuse, ce qui ne permet pas l'infiltration et le creusement d'ouvrages de grand gabarit. Ainsi, l'installation de la nouvelle fosse risquerait d'être réimplantée dans une ancienne fosse n'ayant pas encore stabilisée son contenu, occasionnant et amplifiant les risques sanitaires pour le ménage et le voisinage. L'idéal serait d'envisager et promouvoir la vidange et la mise en place d'un système qui respecte toute la chaîne de gestion et d'élimination/dépotage selon les recommandations reconnues de la filière, en passant par une évacuation sécurisée (maillon intermédiaire) des boues de vidange. En explorant les pratiques de vidange qui se font à Bukavu, le tableau 22 donne des renseignements majeurs qui concernent les réalités sanitaires prévalant dans la ville.

Tableau 22. Mode de vidange en fonction des communes de Bukavu

	Commune	Manuelle	Mécanisée	Autres	Totaux lignes
Effectif	Bagira	44	0	0	44
%		32,6	0,0	0,0	32,6
Effectif	Ibanda	61	5	0	66
%		45,2	3,7	0,0	48,9
Effectif	Kadutu	24	0	1	25
%		17,8	0,0	0,7	18,5
Effectif	Ts Grpes	129	5	1	135
%		95,6	3,7	0,7	100
Chi² de Pearson: 9,78647, dl=4, p=0,044182					

Le tableau 22 signale qu'il ya une relation entre les modes de vidange et les communes de par la valeur de p obtenue ($p < 0,05$). La vidange manuelle est le principal mode de vidange utilisé dans les trois communes de la ville de Bukavu car elle concerne plus de 95,6% des ménages de Bukavu. Le faible coût que représente la vidange manuelle et la commodité de l'applicabilité dans un milieu accidenté et généralement inaccessible par les véhicules justifieraient la cause de sa prépondérance sur les autres modes de vidanges. En commune de Kadutu, les alternatives à la vidange manuelle (autres), signalées par certains ménages consistent à creuser une nouvelle fosse, avec les risques possibles de revenir à l'ancienne fosse au vu de l'anarchie foncière mentionnée précédemment.

Par contre, conscients des risques que comporte cette vidange, et jouissant d'un standing élevé, du moins dans la plupart des cas, les ménages en commune Ibanda se sont déclarés prêts, lors de nos enquêtes, à recourir à la vidange mécanique. Cependant, les deux véhicules, de capacité de 10 m³ chacun, affectés à cet effet dans la ville par la Mairie de Bukavu et l'OVD (office de voirie et drainage) ne sont pas exploités de manière optimale d'autant plus que la pratique en vogue d'emplacement de fosses septiques dans les ménages de la ville, relègue les ouvrages d'assainissement soit derrière les maisons ou à côté d'elles, bref dans des endroits plus ou moins cachés ou qui échappent à la vue lorsque l'on veut accéder à la maison. Cette pratique constitue un facteur limitant pour les camions vidangeurs dont les tuyaux aspirant les boues, limités en longueur, ne peuvent accéder aux ouvrages de stockage de boues. Seuls 7,6% des ménages recourent à la vidange mécanisée, alors que 4% des ménages de Kadutu se livrent à d'autres pratiques de vidange, notamment en profitant des événements pluvieux pour orienter les eaux dans les ouvrages de stockage d'excréments afin de chasser ces derniers par un orifice latéral (Figure 22).

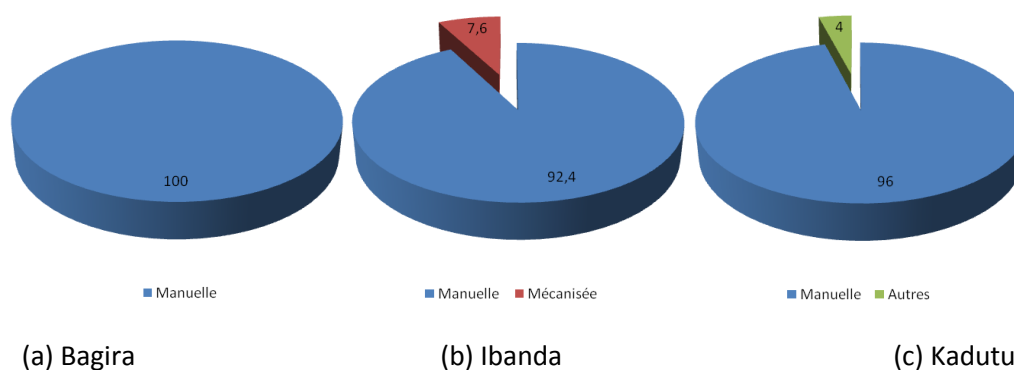


Figure 22. Mode de vidange en fonction des communes de Bukavu

Tableau 23. Lieux de déversement de vidange dans les communes de Bukavu

	Communes	Rue	Caniveaux	Rivières	Enterrées	Lac	Totaux lignes
Effectif	Bagira	3	49	5	0	0	57
%		1,2	20,7	2,1	0,0	0,0	24,0
Effectif	Ibanda	0	18	0	36	12	66
%		0,0	7,6	0,0	15,3	5,1	28,0
Effectif	Kadutu	0	82	31	0	0	113
%		0,0	34,8	13,1	0,0	0,0	47,9
Effectif	Ts Grpes	3	149	36	36	12	236
%		1,2	63,1	15,3	15,3	5,1	100
Chi² de Pearson: 175,426, dl=8, p=0,00000							

En rapport avec les lieux de déversement des boues vidangées (Tableau 23), l'enquête a révélé que les caniveaux sont utilisés par une grande majorité de ménages de Bukavu (63,1%), suivis des rivières (15,3%) en ex aequo avec les pratiques d'enterrer les boues de vidange (15,3%) tandis que le lac et la rue sont sollicitées respectivement par 5,1% et 1,2% des ménages. La densité humaine, surtout criante dans les quartiers populaires (Bagira et Kadutu), le caractère exigu des parcelles et la topographie de la zone favorisent l'utilisation des caniveaux comme milieu de prédilection de déversement des vidanges, principalement à Bagira (86%) et à Kadutu (72,6%). C'est pourquoi la pratique courante de vidange de boues se fait préférentiellement pendant les événements pluvieux pour permettre cette évacuation.

Par ailleurs, les ménages d'Ibanda, dont 54,5%, enterrent les vidanges dans leurs cours respectivement car la plupart des maisons dans cette commune, possèdent des parcelles relativement grandes et d'importantes cours, et peuvent se permettre cette pratique (Figure 23). Mais cela ne soustrait pas ces ménages ainsi que leur voisinage et ni même le lac qui borde ce quartier aux risques sanitaires étant donné que les boues ainsi enterrées se trouvent dans un ouvrage généralement non étanche. Les orages, courants dans la région, peuvent toujours déplacer la couche de sol qui recouvre ce dépôt de boues et entraîner leur épandage à même les sols et la contamination du lac.

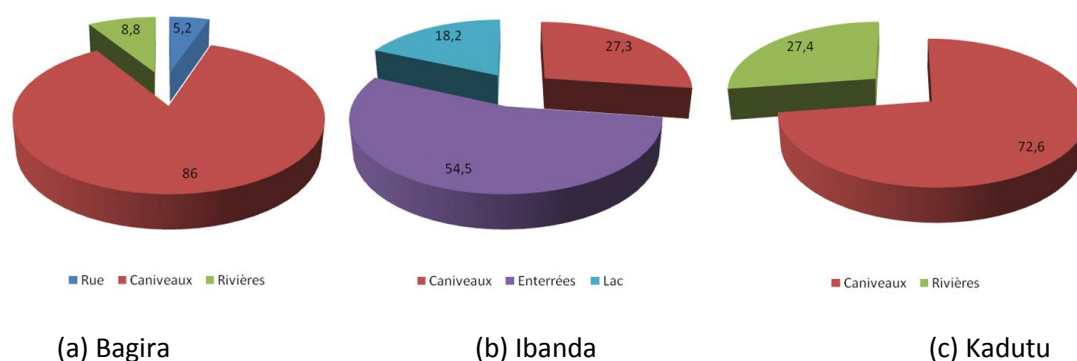


Figure 23. Lieux de déversement des boues de vidange dans les communes de Bukavu

De même, les fuites latérales et souterraines des contaminants peuvent toujours se faire même en temps normal et altérer la nappe et les eaux du lac. De ce qui précède, il est urgent de mettre en place un site de dépotage autorisé et conforme aux normes environnementales et sanitaires sinon; si la situation reste telle qu'elle se présente actuellement dans la ville de Bukavu en matière de gestion des boues de vidange, tous les efforts fournis dans la mise en place des ouvrages d'ANC améliorés et de fourniture en eau potable se révéleraient vains.

4.3.3 Etablissement d'un indicateur d'ANC dans la ville de Bukavu

Les trois maillons de la chaîne d'ANC constituent la base de fondement des indicateurs et de leurs alternatives respectives. Au niveau du maillon amont, trois indicateurs ont été identifiés, notamment la nature de l'installation d'ANC (recueil des excréta) du ménage (I1), l'état de cette installation (I2), la gestion (déversement) des eaux usées ménagères (I3). En rapport avec le maillon intermédiaire, l'indicateur retenu concerne les actions menées par le ménage lorsque l'installation d'ANC est pleine (I4). Pour le maillon aval, l'indicateur à considérer s'identifie aux endroits de dépotage des boues vidangées (I5). Chaque indicateur comprend une série d'alternatives (Tableau 24).

Tableau 24. Indicateurs et alternatives dégagés de différents maillons

Indicateurs	Alternatives
I ₁ : Ouvrage d'assainissement dans le ménage	A _{1.1} (Latrine traditionnelle); A _{1.2} (Latrine à canon); A _{1.3} (Latrine à chasse manuelle); A _{1.4} (Toilette moderne)
I ₂ : Etat de l'ouvrage	A _{1.1} (Accès); A _{1.2} (Confort); A _{1.3} (Hygiène); A _{1.4} (Construction)
I ₃ : Déversement des eaux usées (cuisine et douche)	A _{1.1} (Puits perdant); A _{1.2} (Rue/Caniveau); A _{1.3} (Cour d'eau); A _{1.4} (Cour de maison)
I ₄ : Action en cas de remplissage de la fosse	A _{1.1} (Réalisation d'une autre fosse); A _{1.2} (Vidange mécanique); A _{1.3} (Vidange manuelle); A _{1.4} (Autres)
I ₅ : Lieu de dépotage des boues de vidange	A _{1.1} (Caniveaux); A _{1.2} (Cours d'eau); A _{1.3} (Rue); A _{1.4} (Lac); A _{1.5} (Enterrées)

L'indicateur I_2 est entendu comme étant la variable d'état de l'ouvrage d'ANC. Son évaluation a été réalisée en procédant par la moyenne arithmétique de quatre états requis pour une bonne conformité sanitaire d'ouvrage d'ANC. La méthode de Saaty (1990) a été mise à contribution pour pondérer lesdits états. En d'autres termes, la somme de leurs poids étant équivalente à l'unité (1), cette façon de pondérer se base sur la possibilité de chacun d'eux à promouvoir un bon état sanitaire des utilisateurs. De par ces précisions et dans la dynamique de maintenir ce cap d'un bon état sanitaire, l'hygiène de l'ouvrage d'ANC paraît plus importante que son confort, qui, à son tour, est plus important que l'accessibilité de l'ouvrage aux usagers; cette accessibilité peut être considérée comme plus importante que la facilité et l'accessibilité de l'ouvrage à la vidange (Tableau 25).

Ainsi, en guise du calcul de cet indicateur qui ne pourra être connu qu'à *posteriori* après une visite sur site, le poids de chacun des états est retenu si et seulement si l'ouvrage obéit à l'état dont il est mentionné; dans le cas contraire, il se verra affecter une note de zéro.

Tableau 25. Poids des états pour l'indicateur I_2 (Etat de l'ouvrage d'assainissement)

Etats	Confort	Accessibilité aux usagers	Hygiène	Accessibilité à la vidange	Indicateur idéal d'état de l'ouvrage
Poids	0,23	0,15	0,53	0,9	0,25 (moyenne arithmétique)
Lambda max	4,49				

4.3.4 Choix des critères et évaluation des alternatives

A ce niveau du travail, il a été question d'arrêter un certain nombre de critères susceptibles de nous aider à classer les différentes alternatives identifiées pour chacun d'indicateurs. Grâce à la documentation disponible, l'évaluation des alternatives a été réalisée et a permis d'affecter aux alternatives à raison de chaque critère, une note variant de zéro (la pire) à 5 (la meilleure). D'après Bigumandondera (2014), les critères à impact sanitaire ou en rapport avec la protection de l'environnement l'emportent sur les autres et possèdent un poids élevé.

4.3.4.1 Critères de classement des alternatives pour l'Indicateur I_1

Dans le cadre du classement des alternatives qui se rapportent à l'indicateur I_1 , sept critères ont été identifiés : prix de construction de l'ouvrage d'ANC (C_1); présence de mouches (et/ou de moustiques) et risques sanitaires associés (C_2); risques de pollution des eaux souterraines et de surface (C_3); quantité d'eau nécessaire pour fonctionner (C_4); possibilité de traiter les eaux usées domestiques et les excréta ensemble (C_5); utilisable à l'intérieur de la maison (C_6); possibilité d'être raccordé au tout-à-l'égout ultérieurement (C_7).

Ainsi, en tenant compte des critères susmentionnés, la procédure suivie pour évaluer les alternatives de ce critère a été effectuée à la lumière de la synthèse faite par Bigumandondera (2014). A l'issue de l'application de la méthode de Saaty, le tableau

26 présente les performances des alternatives de cet indicateur ainsi que les poids des critères retenus.

Tableau 26. Performances des alternatives de l'indicateur I_1 et poids de critères

Critères Alternatives	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
Latrine à canon	4	1	1	2	2	1	2
Latrine traditionnelle	3	1	1	1	2	1	1
Latrine à chasse manuelle	2	2	2	3	1	2	3
Toilette moderne	1	2	3	3	1	3	3
Poids des critères	8	17	8	10	14	18	25

4.3.4.2 Critères de classement des alternatives pour l'Indicateur I_3

Les critères retenus ici sont : risques sanitaires liés aux microorganismes présents dans les eaux usées (C₁); risques sanitaires liés à la formation des flaques d'eaux usées, occasionnant la prolifération de moustiques (climat tropical où sévit le paludisme) et autres insectes (C₂); risques de pollution des eaux de surface (C₃); risques de pollution des eaux souterraines (C₄); coût lié aux déversements (C₅).

Par ailleurs, rappelons que les eaux usées provenant des alternatives (technologies) identifiées comportent divers risques vis-à-vis de l'environnement et susceptibles d'affecter la santé des humains. En évaluant ces risques, on peut mettre en évidence les teneurs des ces eaux usées en microorganismes, ainsi que les flux de pollutions (DCO, DBO₅, MES, etc.) dégagés. Abondant dans ce sens, Eriksson *et al.* (2002) ont souligné des concentrations (mg/l) de DBO₅ variant entre 76 et 300 et 5 et 1460 respectivement pour les eaux usées de douche et de cuisine, tout en signifiant que les eaux de cuisine sont caractérisées par des teneurs élevées en azote et phosphates, en l'occurrence dans les pays où les détergents riches en phosphates continuent d'être utilisés. En outre, ils ont révélé pour les eaux de cuisine, des teneurs dont les gammes de variation (en UFC) sont de 10^5 à $2,5 \cdot 10^8$ et de $9,4 \cdot 10^4$ à $3,8 \cdot 10^8$ par 100 ml respectivement pour *E.coli* et thermotolérants. Quant à Schouw *et al.* (2002), ils ont révélé dans les eaux noires, des concentrations de l'ordre de 7,6 à 7,9 g N/hab/j (azote total), et de 1,8 à 3,7 g P/hab/j (phosphore total). Abondant dans le même sens, Nsavyimana (2014) a mis en évidence des charges moyennes de la DCO_{brute} (gDCO.EH⁻¹.j) de l'ordre de $47,54 \pm 12,07$ (excréments), $5,75 \pm 1,27$ (urines), $14,15 \pm 0,9$ (papier toilette), $18,4 \pm 6,09$ (détergents pour lessive), $8,85 \pm 3,1$ (savon de bain ou de douche), 43,83 (eaux d'éviers de cuisine).

Ces différentes valeurs (concentrations et charges) sont mises à contribution pour évaluation des alternatives selon les critères C₁ à C₄, alors que le critère C₅ se base sur le coût à payer pour l'évacuation des eaux usées. Par rapport à ce dernier aspect, le coût d'évacuation

diminue en partant de l'évacuation par fosse septique suivie de celle par puits d'infiltration et enfin par réutilisation en irrigation. L'évacuation par caniveaux et par cours d'eau n'engendre pas de coût. Ainsi, les performances et les poids des critères sont consignés dans le tableau 27.

Tableau 27. Performances des alternatives de l'indicateur I_3 et poids de critères

Critères Alternatives	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Puits perdant	3	3	3	3	3
Rue/caniveau	2	2	1	2	2
Cours d'eau	2	1	1	2	2
Cour de maison	1	1	2	1	1
<i>Poids des critères</i>	<i>23</i>	<i>25</i>	<i>34</i>	<i>11</i>	<i>6</i>

4.3.4.3 Critères de classement des alternatives pour l'Indicateur I_4

Les critères intervenant dans le classement des alternatives de l'indicateur I_5 (action en cas de remplissage de l'ouvrage d'assainissement) identifiés se chiffrent à cinq: degré de contact avec les boues (C₁); coût de l'opération (C₂); gêne olfactive et risques sanitaires (C₃); temps de l'opération (C₄); manœuvrabilité (accessibilité sur les lieux, facilité d'utilisation dans un contexte local, maintenance) (C₅); facilité dans la gestion des boues après l'opération (C₆).

Dans le cadre de l'évaluation de ces alternatives, il s'avère impérieux de prendre en compte un certain nombre de paramètres, parmi lesquels le manque d'espace, caractère de plus en plus remarqué dans la plupart des villes des PED. En effet, la prise en compte de ce paramètre se justifie principalement par le fait que toute initiative allant dans le sens de la construction d'une nouvelle fosse ou d'enterrer les boues vidangées dans la concession du ménage en dépend; la littérature, dont les travaux de Still (2002), le lient à la densité de plus en plus élevée de la population dans ces villes.

En outre, il sied de confiner les boues dans un endroit sûr en évitant tout contact avec ces dernières vu leur caractère pathogène et la gêne olfactive qu'elles génèrent, écourter l'opération de mise en état des lieux (vidange ou remplacement de la fosse) tant que faire se peut. Aussi, le coût de l'opération doit être à la portée de la plupart des ménages (Tilley *et al.*, 2008). Le Tableau 28 donne le poids des critères par la méthode de Saaty et les performances des alternatives de I_4 .

Tableau 28. Performances des alternatives de l'indicateur I_4 et poids de critères

Critères \ Alternatives	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
Vidange manuelle	3	4	1	1	3	2
Vidange mécanique	5	2	4	4	2	5
Autres	1	3	1	1	3	1
Poids des critères	7	5	13	24	34	17

4.3.4.4 Critères de classement des alternatives pour l'indicateur I_5

En vue de classer les alternatives de l'indicateur I_5 (lieu de dépotage des boues de vidange), 5 critères ont été retenus: risques sanitaires liés aux pathogènes contenus dans les boues (C_1); risques liés à la pollution des eaux de surface (C_2); risques liés à la pollution des eaux souterraines (C_3); coût lié au dépotage (C_4); gêne olfactive liée au dépotage des boues (C_5).

Quelques facteurs se signalent comme importants et doivent être mentionnés dans la dynamique de l'évaluation des alternatives mises en évidence pour l'indicateur dont il est question (I_5), notamment le fait que les boues de vidange sont très concentrées en polluants et en microorganismes pathogènes et présentent des risques sanitaires élevés comme c'est signalé dans la littérature (Keffala *et al.*, 2012) si elles sont dépotées dans les caniveaux ou les cours d'eau. En outre, les risques de pollution des eaux souterraines restent élevés si les boues sont enterrées ou dépotées dans l'espace vide suite à l'infiltration.

De même, une gêne olfactive peut se signaler en cas des dépotages clandestins (Nelson et Murray, 2008). Par contre, la littérature retient un seul inconvénient pour le dépotage autorisé, notamment le prix à payer alors que pour l'épandage agricole non contrôlé, les vidangeurs (livreurs de boues) sont en retour payés par les agriculteurs au moment de la livraison des boues (Bigumandondera, 2014). Le Tableau 29 dresse le poids de l'indicateur I_5 .

Tableau 29. Performances des alternatives de l'indicateur I_5 et poids de critères

Critères \ Alternatives	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
Caniveaux	2	2	1	1	2
Cours d'eau	2	2	1	3	1
Rue	3	2	1	1	3
Lac	3	2	1	2	1
Enterrées	1	1	2	1	2
Poids des critères	32	23	19	20	6

4.3.5 Classement des alternatives d'indicateurs selon ELECTRE I

Le tableau de performance de ces 4 indicateurs ont permis d'établir un tableau de classement des alternatives. Le surclassement fort est prioritairement utilisé pour ranger les alternatives, le surclassement faible n'étant utilisé que pour départager les alternatives que le surclassement fort semble donner équivalent. Le tableau 30 présente le classement obtenu selon ELECTRE I par ordre croissant de préférence vis-à-vis de différentes alternatives.

Les résultats fournis par ELECTRE I (Tableau 30) ainsi que les poids de l'indicateur I_2 (Etat de l'ouvrage de l'assainissement-Tableau 25) sont appliqués sur les données d'enquête ménage conduite dans la ville de Kinshasa où pour chaque ménage enquêté, et à chacun des indicateurs considérés, on attribue une note qui reflète l'option prise par ledit ménage pour gérer ses eaux usées. Pour chaque ménage, un indicateur global d'ANC est par la suite calculé en utilisant la méthode du *Composite Programming* qui agrège les cinq indicateurs pris en compte du travail.

Tableau 30. Classement des alternatives selon ELECTRE I

Indicateurs	Alternatives	Classement selon ELECTRE 1
Ouvrage d'assainissement dans le ménage (I_1)	A _{1.1} : Latrine traditionnelle	3
	A _{1.2} : Latrine à canon	4
	A _{1.3} : Latrine à chasse manuelle	2
	A _{1.3} : Toilette moderne	1
Déversement des eaux usées (cuisine et douche) (I_3)	A _{1.1} : Puits perdant	1
	A _{1.2} : Rue/Caniveau	3
	A _{1.3} : Cour d'eau	4
	A _{1.4} : Cour de maison	2
Action en cas de remplissage de la fosse (I_4)	A _{1.1} : Vidange mécanique	1
	A _{1.2} : Vidange manuelle	2
	A _{1.3} : Autres	3
Lieu de dépotage des boues de vidange (I_5)	A _{1.1} : Caniveaux	4
	A _{1.2} : Cours d'eau	2
	A _{1.3} : Rue	5
	A _{1.4} : Lac	3
	A _{1.5} : Enterrées	1

4.3.6 Agrégation des indicateurs en indicateur unique par le Composite Programming

En domaine d'assainissement, l'analyse multicritère intervient pour concilier les points de vue de trois aspects indispensables dudit domaine (ingénieur-économiste-environnementaliste) afin d'avoir un meilleur compromis. Nous avons utilisé le *Composite Programming* qui est un outil permettant l'obtention d'un critère unique de synthèse à partir des regroupements successifs des critères. Pour rendre cette démarche effective, on fait appel à la notion du classement, laquelle est basée sur la notion de distance L^p . Celle-ci assure la gestion de la compensation entre les critères au sein d'un même groupe (critère composé) (Boreux et Parent, 2006).

Pour notre cas, le *Composite Programming* a été appliqué pour classer les systèmes d'ANC rencontrés auprès des ménages sur lesquels ont porté nos enquêtes, en fonction de la distance L^p les séparant d'un système idéal de référence qui correspond à 100% de réalisation d'ANC. Ainsi la distance L^p est-elle exprimée par la relation (1) comme ci-après, et dans laquelle x_j et y_j représentent les systèmes d'assainissement alors que b_i et a_i expriment les valeurs de différents indicateurs pour un même système d'assainissement.

$$L^p(x_j, y_j) = \left[\sum_{i=1}^m w_i |b_i - a_i|^{pk} \right]^{1/pk}$$

Ce faisant, il est important d'identifier les valeurs de la meilleure des actions (i_{i+}) et i_{i-} , la plus mauvaise des actions que peut prendre chaque indicateur, ce qui permettra d'appliquer pour chaque système d'ANC, la normalisation représentée par la Z_{ij} et dont la valeur varie entre 0 (la pire des actions) et 1 (la meilleure des actions).

$$Z_{ij} = \frac{x_{ij} - i_{i-}}{i_{i+} - i_{i-}}$$

Suivant cette logique, étant donné qu'un système d'ANC idéal correspond à la valeur un, la distance L^p séparant chaque système d'assainissement et le système idéal d'ANC après normalisation est représentée par:

$$L^p(x_i, 1) = \left[\sum_{i=1}^m w_i |1 - z_{ij}|^{pk} \right]^{1/pk}$$

Dans cette équation, w_i est le poids affecté à l'indicateur "i" et la somme des w_i est égale à 1 au sein de chaque lot d'indicateurs, tandis que z_{ij} est la valeur normalisée du $i^{ème}$ indicateur du système d'ANC x_i et pk exprime la compensation admise entre les indicateurs qui composent le lot K.

Cette équation exprime donc, la distance entre le système d'assainissement x_i et le système d'ANC idéal y_j , tandis que l'abscisse de l'indicateur global d'ANC x_i est déterminée par le complément de la distance $L^p(x_i, 1)$ qui est représenté par $1-L^p(x_i, 1)$, exprimant ainsi les performances d'ANC qui est installé dans divers ménages.

Les résultats intermédiaires du *Composite Programming* (CP) sont appelés à s'exprimer sur base de ce cheminement, tel qu'exprimé par la figure 24 qui caractérise l'agrégation de différents indicateurs, laquelle procède par des regroupements successifs par maillon et en fonction de chacun de systèmes d'ANC.

Les cinq indicateurs de base forment le premier niveau, alors que le CP des trois indicateurs agrégés du premier maillon et l'indicateur du maillon intermédiaire constituent le deuxième niveau. En plus, on y remarque que le troisième niveau est composé du CP de deux premiers maillons et de maillon aval (I_5), et qu'enfin, le quatrième niveau constitue l'indicateur global d'ANC résultant de cinq indicateurs de base.

En outre, on y trouve W_i qui symbolise le poids affecté à l'indicateur "i" par rapport aux autres indicateurs du lot; par contre, "p" représente la compensation admise entre les différents indicateurs appartenant au même lot.

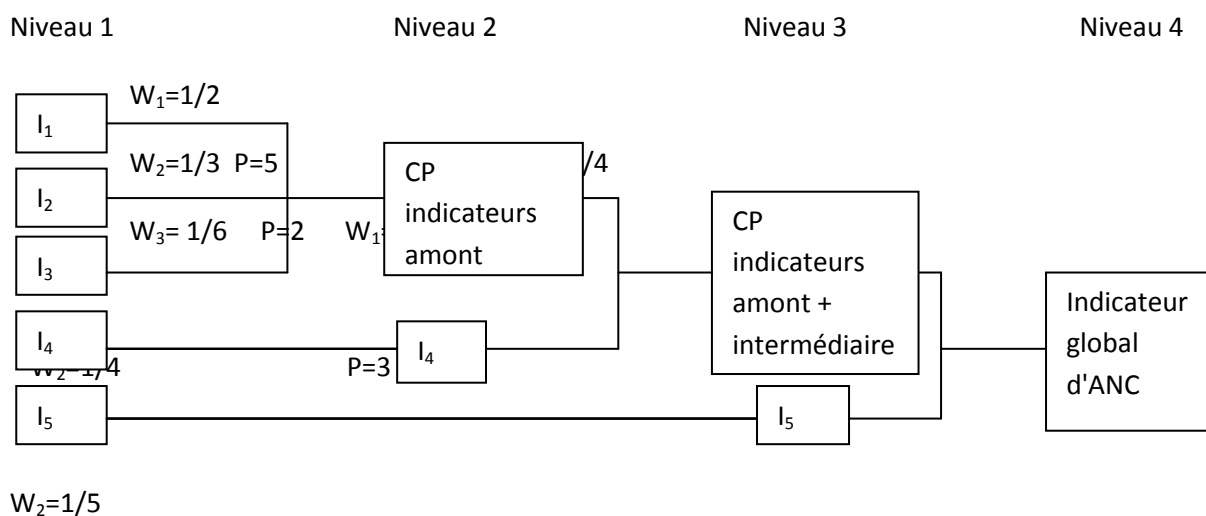


Figure 24. Regroupement des indicateurs par lot

Dans la dynamique du maintien d'un bon état sanitaire et environnemental, le choix des poids des différents indicateurs est basé sur l'importance accordée à chacun d'eux. Dans cette optique, l'indicateur I_1 (ouvrage les deux d'ANC dont le ménage) et son état (I_2) occupent alors une place privilégiée (ont un poids de 0.83) devant ainsi l'indicateur I_3 . Quant aux indicateurs I_4 et I_5 , les poids dépendent des blocs avec lesquels ils sont ensemble, comme présenté (Figure 24).

En vue d'aboutir à une solution performante sur la plupart des indicateurs constituant le système d'ANC, on a considéré des facteurs de compensation p de cinq, de deux et de trois

respectivement pour les premier, deuxième et troisième lots. Le facteur de compensation égal à un ($p=1$), traduit l'admission d'une parfaite compensation entre les indicateurs. Par ailleurs, l'augmentation de p traduit la réduction de la compensation jusqu'à l'intransigeance $p=\infty$ (aucune compensation admise, mais en pratique est considéré comme suffisant tout p égal à cinq).

Suivant ces considérations, on admet que le choix desdits facteurs de compensation est fondé sur le fait que le confinement des excréta dans une latrine n'aboutit à l'amélioration des conditions sanitaires des usagers que si la latrine est bien entretenue, et que si les eaux résiduaires ménagères (douche, cuisine et lessive) font l'objet d'un bon management. Ce qui signifie qu'aucune compensation n'est admise pour les indicateurs du maillon amont de l'ANC qui forme le premier lot, dont les indicateurs doivent en totalité être performants pour espérer de bons résultats du point de vue sanitaire (d'où un $p=5$).

En parallèle, on admet la tolérance d'un certain degré de compensation pour les indicateurs appartenant aux maillons intermédiaires (I_4) et aval (I_5), pour la simple raison que ces indicateurs ne sont mis en œuvre qu'une fois tous les trois ans au minimum (au cours de la vidange des boues) contrairement aux indicateurs du maillon amont où leur mise en œuvre doit être réalisée tous les jours. Ce qui détermine la primeur du rôle dévolu au maillon amont de l'ANC pour le maintien d'un bon état sanitaire et environnemental.

L'application de l'indicateur global d'ANC dans la ville de Bukavu, obtenu sur base de l'agrégation de différents indicateurs par la méthode du *Composite Programming*, est illustrée par le Tableau 31.

Tableau 31. Performances des systèmes d'ANC en ville de Bukavu

	Performances (%)	Pourcentage de la population en fonction de la performance pour différentes communes		
		Bagira (%) N=57	Ibanda (%) N=66	Kadutu (%) N=113
Indicateur global (I_G) d'ANC	0-30	11	-	48
	31-50	37	6	37
	51-70	40	20	12
	71-80	9	16	3
	81-100	3	58	-
Moyen	Moyennes (%)	52	65	27

Nous pouvons retenir que les indicateurs formant l'indicateur global d'ANC, ne possèdent pas les mêmes capacités à garantir les performances sanitaires et environnementales requises dans une filière d'assainissement non collectif installée dans les ménages des particuliers. Néanmoins, ils demeurent complémentaires du fait que leurs différentes contributions à l'accomplissement de l'indicateur global d'ANC, établissant qu'aucun indicateur n'est capable à lui seul, d'apporter une nette amélioration sur le plan sanitaire et

environnemental. Cependant, il est des indicateurs capables d'influencer les performances du système d'assainissement plus que d'autres. Pour le cas de cette étude, on peut mentionner les indicateurs I_1 et I_2 suivis de I_3 et I_4 .

Ainsi, force est de constater que les performances de l'indicateur global d'assainissement non collectif restent faibles dans la ville de Bukavu étant donné que les indicateurs I_1 , I_2 , I_3 et I_4 ne sont pas bien gérés. Bien des facteurs, comme relevé dans ce chapitre, élucident le déficit managérial qui caractérise l'assainissement dans cette ville. Parmi ceux-ci, on trouve la promiscuité dans laquelle vivent la plupart des ménages de Bukavu, résultant du manque d'agrandissement spatial de la ville, lequel est dicté par les contraintes liées au relief. Cette promiscuité est en accord avec les MICS2 (2002) qui mentionnent un degré fort élevé de promiscuité dans le milieu urbain en RDC (46%).

Au vu de la densité humaine affichée à Bukavu, les difficultés d'assainissement sont évidentes et peuvent être expliquées par diverses raisons: faiblesse des revenus au niveau des ménages, coût de constructions élevé, incapacité de l'état à intervenir dans le domaine de logements, disparition de l'office national de logement, absence d'une politique de promotion de logement et d'assainissement.

Dans le même sens, le niveau de revenu joue un rôle majeur dans la gestion de l'ANC dans la ville de Bukavu où les performances moyennes sont de 52% (Bagira), 65% (Ibanda) et 27% (Kadutu). Cette répartition de performances suit également celle de standing de vie des populations de ces trois communes. Ceci est en accord avec Bigumandondera (2014) qui a souligné dans la ville de Bujumbura, des performances élevées en commune de Kinindo, moyennes à Musaga (moyen standing) et faible en communes de Cibikoke et Kinama.

En effet, la plupart des latrines de Kadutu surtout, déversent directement les excréments dans les rivières et exutoires d'eaux pluviales, tandis que bien des ménages en communes d'Ibanda et Bagira utilisant les fosses septiques, considèrent ces dernières comme ouvrages de traitement alors que le principe veut plutôt qu'on leur adjoigne des unités de traitement, comme une tranchée filtrante. Ces genres de pratiques sont à décourager afin de limiter la dégradation de l'environnement et les risques sanitaires.

Aussi, ces précisions s'accordent avec les MICS2 (2002) qui stipulent que dans l'ensemble de la RDC, seuls 9% de la population utilisent les modes hygiéniques d'évacuation des eaux usées, avec une proportion de 24% en milieu urbain contre 3% en milieu rural, et que les moyens hygiéniques d'évacuation des eaux usées sont principalement utilisés par les catégories les plus riches. Grâce à ELECTRE I, l'alternative à promouvoir pour I_5 serait d'enterrer les boues de vidange.

Cependant, il est utile de prendre en compte les types des sols en présence afin de limiter les risques de contamination susceptibles d'atteindre la nappe phréatique. L'alternative au rejet des boues de vidange dans la rue, paraît comme étant la pire des actions à

entreprendre, au vu des risques de contact et des nuisances qui guettent directement les populations.

Conclusion

L'approvisionnement en eau potable et la mise en place d'un assainissement adéquat peuvent être considérés comme le socle pour tout développement des villes africaines et toute amélioration des conditions de vie des habitants. Ce chapitre s'est intéressé à l'évaluation de l'assainissement non collectif dans la ville de Bukavu. Les diagnostics réalisés présentent un tableau sombre. Le niveau d'instruction des chefs de ménages s'est avéré comme un paramètre de grande importance dans la gestion de l'ANC, aux fins d'adopter un comportement responsable vis-à-vis de leurs dépendants pour éviter les risques sanitaires.

Le degré de significativité a été fort entre les communes et les types d'eau de boisson et d'eau de cuisson. Les fréquences des vidanges sont corrélées avec les catégories sociales; l'accessibilité aux ménages en communes d'Ibunda et Bagira s'est illustrée comme étant facile, ce qui prédispose leurs ménages aux services d'assainissement de qualité pour l'évacuation des déchets tandis que la commune de Kadutu est dominée par des ménages non accessibles par les camions mais simplement par des piétons, rendant ainsi la mise en exécution des programmes d'assainissement ardu.

Les exutoires domestiques, les rivières et le lac servent des récepteurs des matières de vidanges et des déchets, une pratique qui altère le cadre de vie des populations et les expose à divers risques de santé. Une politique spécifique en matière d'assainissement et une sensibilisation des populations accompagnée des mesures dissuasives de la part des dirigeants, constitueraient des atouts majeurs pour restaurer le cadre de vie des populations. Des trois maillons de la chaîne d'ANC, il ressort qu'un effort considérable reste à faire pour la gestion du maillon aval étant donné que toute la quantité des boues produites dans la ville de Bukavu est gérée de manière non conforme. En plus, la densité de la population qui ne cesse d'augmenter, nécessite une politique de construction des logements sociaux bien réfléchis.

Références bibliographiques

Aloueimine S.O. (2006). Méthodologie de caractérisation des déchets ménagers à Nouakchott (Mauritanie) : contribution à la gestion des déchets et outils d'aide à la décision. Thèse de doctorat, Université de Limoges, Laboratoire des Sciences de l'Eau et de l'Environnement, 195p.

Bigumandondera P. (2014). Etude de l'assainissement non collectif en Afrique subsaharienne: Application à la ville de Bujumbura. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 276p.

Boreux J.J. & Parent E., 2006. *Le Composite Programming. Une méthode d'analyse multicritère de type Borda*. Document de travail, Université de Liège, 13p.

Carr G.M. et Neary J.P. (2008). *Water Quality for Ecosystem and Human Health*. United Nations Environment Programme (UNEP), Global Environment Monitoring System/Water Programme, 2nd Edition, 130p.

De Saint Moulin L. (1976). *Atlas des collectivités du Zaïre*. Kinshasa.

Dorier-Apprill E. (1993). *Environnement et santé à Brazzaville, de l'écologie urbaine à la géographie sociale*, thèse de géographie, Paris X, 668p.

Dorier-Apprill (2006). *Ville et environnement*, Paris, SEDES, 512p.

Dos Santos S. et Legrand T.K. (2007). Accès à l'eau et mortalité des enfants à Ouagadougou (Burkina Faso). *Environnement, Risque & Santé*. Vol. 6, n° 5, pp. 365-371.

Franceys R. and Pickford J.(1995). On-plot sanitation in low-income urban communities: a review of literature. WEDC, Loughborough University, 81p.

Forget G. et Lebel J.(2001). une approche d'écosystème à la santé humaine. In *Journal International de la Sante Professionnelle Et Environnementale*; supplément au volume7, n° 2, pp. 537-538.

Gagneux S., Schneider C., Odermatt P., Cissé G. et Tanner M. (1999). La diarrhée chez les agriculteurs urbains de Nouakchott en Mauritanie. *Médecine tropicale*. N° 59, pp. 253-259p.

Hôpital Général Provincial de Référence de Bukavu (2013). *Rapport annuel des activités*. Inédit, Bukavu, Sud-Kivu, 46p.

Inspection Provinciale de la Santé/IPS (2013). *Rapport annuel des activités*. Bukavu, Sud-Kivu.

Institut Provincial des Statistiques/IPS (2012). *Rapport annuel des activités*. Bukavu, Sud-Kivu.

Kjellstrom T., Mercado S., Satterthwaite D., McGranahan G., Friel S. et Havemann K. (2007). *Our cities, our health, our future : Acting on social determinants for health equity in urban settings*. Report to the WHO Commission on Social Determinants of Health from the Knowledge Network on Urban Settings, Kobe Japan, 70p.

Koné D. (2000). Le traitement des eaux usées par lagunage : une décennie de recherche à l'EIER. In: *Assainissement urbain en Afrique, Actes du séminaire international de Gorée, Gorée-Dakar*. Aquadev. pp. 53-56.

Kouam Kenmogne G.R., 2013. Vers une gestion rationnelle de l'eau dans une situation complexe d'urbanisation anarchique dans un pays en développement: cas du bassin de l'Abiergue (Yaoundé - Cameroun). Thèse de Doctorat: Université de Liège, Belgique, 256p.

MICS2-RDC (2002). Enquête à indicateurs multiples de la République démographique du Congo, Kinshasa. Vol.2, 184p.

Ngahane E.L. (2015). Gestion technique de l'environnement d'une ville (Bembereke au Bénin): caractérisation et quantification des déchets solides émis; connaissance des ressources en eau et approche technique. Thèse de Doctorat: Université de Liège, Belgique, 239p.

Ngwe E. et Banza-Nsungu A.B. (2007). Les déterminants socio-environnementaux de la morbidité diarrhéique des enfants de moins de 5 ans en milieu urbain au Cameroun: les villes d'Ebolowa et Maroua. Rapport final de recherche, Institut de Formation et de Recherche Démographiques (IFORD), Yaoundé, 61p.

Nsavyimana G. (2014). Modélisation des processus physiques et biologiques dans des fosses septiques et voie de valorisation des boues de vidange: application à Bujumbura-Burundi. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 427p.

OMS & UNICEF (2007). Atteindre l'OMD relatif à l'eau potable et à l'assainissement. Le défi urbain et rural de la décennie.

OMS (1994). Crise de la santé en milieu urbain. Les stratégies de la santé pour tous face à une urbanisation galopante. Rapport des *Discussions Techniques de la Quarante-quatrième Assemblée Mondiale de la Santé*, Genève, 93p.

OMS & UNICEF (2010). Progrès en matière d'assainissement et d'alimentation en eau. Rapport 2010. Bibliothèque de l'OMS, Genève, Suisse, 57p.

OMS/UNICEF (2015). Progress on sanitation and drinking water. 2015 update and MDG Assessment

OMS-UN Habitat (2010). La face cachée des villes: mettre au jour et vaincre les inégalités de santé en milieu urbain. Rapport UN-OMS, Genève, 145p.

UNEP (2014). Annual Report ISBN: 978-92-807-3442-3. Available at <http://apps.unep.org> (23/08/2015).

PNUE-UNEP (2011). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo. Défis et Opportunités. Rapport technique. Nairobi, Kenya, 98p.

Saaty T.L. (1986). A note on the AHP and expected value theory. *Socio-Economic Planning Sciences* 20/6 397-398.

Saaty T.L. (1990). How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European journal of operational research*, **48**(1), 9-26.

Salem G. et Jannée E. (1989). Urbanisation et santé dans le Tiers-Monde : transition épidémiologique, changement social et soins de santé primaires. Collections Colloques et Séminaires, ORSTOM, Paris, 548p

Salem G. (1998). La santé dans la ville. Géographie d'un espace dense : Pikine (Sénégal). Editions Karthala-ORSTOM, Paris, 360p.

Schouw N. L., Danteravanich S., Mosbaek H. and Tjell J. C. (2002). Composition of human excreta - a case study from Southern Thailand. *Science of The Total Environment* **286**(1-3), 155-66.

Ibrahima Sy, Mouhamadou Koita, Doulo Traoré, Moussa Keita, Baidy Lo, Marcel Tanner et Guéladio Cissé (2011). « Vulnérabilité sanitaire et environnementale dans les quartiers défavorisés de Nouakchott (Mauritanie) : analyse des conditions d'émergence et de développement de maladies en milieu urbain sahélien », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Volume 11 Numéro 2, 17p.

Sy I., Keita M., Traoré D., Koné B., Bâ K., Wedadi O.B., Fayomi B., Bonfoh B., Tanner M. et 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* [En ligne], Hors-série 19 | août 2014, mis en ligne le 11 août 2014, consulté le 17 juillet 2015. URL : [http:// vertigo.revues.org/14999](http://vertigo.revues.org/14999); DOI : 10.4000/vertigo.14999.

Tréfois P., Moeyersons J., Lavreau J., Alimasi D., Badriyo I., Mitima B., Mundala M., Munganga D., Nahimana L. (2002). Rapport des travaux sur la géologie urbaine de Bukavu : Interaction entre la stabilité du sol et la pression démographique. MRAC, Inédit (Rapport final 2002 : projet sur la géologie urbaine de Bukavu).

WHO & UNICEF-OMS/UNICEF (2000). Global water supply and sanitation. Assessment 2000 report. WHO Press, Geneva, Switzerland, 79p.

Wyss M., Hasegawa A., and Nakajima J. (2001). Source and path of magma for volcanoes in the subduction zone of northeastern Japan, *Geophys. Res. Letts.*, **28**, pp. 189-1822.

Wyss K., Yemadji N.D., Cissé G. et Tanner M. (2001). Gestion par leurs occupants d'environnements défavorisés au Sahel, *SEMPERVIRA*, N° 10, pp. 50-95.

CHAPITRE V. LA CARACTERISATION DES EAUX RESIDUAIRES DOMESTIQUES DANS LA VILLE DE BUKAVU

5.1 Introduction

La contamination des eaux de surface constitue de nos jours, un problème préoccupant dans les sociétés, et conduisant à la pollution. L'origine de cette dernière remonte très loin dans la vie, particulièrement au moment où l'eau a commencé à être utilisée comme facteur d'élimination des déchets (Georges et Servais, 2002).

Dans la ville de Bukavu, le manque d'assainissement correct constitue un sérieux problème de santé publique et de protection de l'environnement, et amène à l'utilisation des rivières qui traversent la ville, comme exutoires d'évacuation des eaux résiduelles. A cette pénurie s'ajoutent une démographie galopante et un exode rural difficile à contrôler.

Par ailleurs, il est connu que l'urbanisation génère des besoins croissants en matière de logement décent, d'accès à l'eau potable et à l'assainissement, ainsi que des besoins relatifs aux soins de santé. Pourtant, les pouvoirs publics, à l'instar de la plupart des pays du sud comme mentionné par (Sy et Wade, 2007), ne disposent pas assez de moyens pour faire face à cette crise. Par voie de conséquence, le réseau d'assainissement légué par la colonisation du pays en 1960, se trouve maintenant à l'état vétuste dans bien des villes congolaises en général et à Bukavu en particulier. Cette situation fait que ledit réseau devienne incapable de supporter les flux des effluents produits, lesquels sont déversés bruts dans les cours d'eau traversant la ville et qui aboutissent au lac Kivu.

Il en résulte les risques sanitaires multiformes et en lien avec les conditions environnementales du cadre de vie des populations. A ce sujet, plusieurs travaux, parmi lesquels les rapports de l'Inspection Provinciale de la Santé (2011, 2012 et 2013), signalent bien des cas endémiques ou épidémiques observés dans la ville et liés à l'eau (Chapitre II).

Globalement, les progrès scientifiques en vogue permettent d'élucider l'origine de la plupart des maladies dans le secteur hydrique. Associés aux progrès de l'hygiène individuelle et collective ainsi qu'au développement de techniques de production d'eau potable et à des contrôles bactériologiques stricts des eaux de surface, ces progrès ont rendu possible l'éradication presque complète des maladies liées à l'eau en Occident, lesquelles demeurent un fléau et une préoccupation majeure dans bien des pays en voie de développement.

Dans cette optique, l'utilisation des coliformes totaux comme indicateurs de contamination fécale étant de plus en plus contestée en raison de l'hétérogénéité de ce groupe de bactéries, dont certaines espèces peuvent être d'origine hydrique ou tellurique, les coliformes fécaux sont davantage considérés comme les principaux indicateurs de contamination fécale. Les coliformes fécaux dont *Escherichia coli* (*E. coli*), sont des

indicateurs d'une contamination récente ou constante, d'origine fécale humaine ou animale. *E. coli* est un indicateur plus spécifique d'une contamination fécale que le groupe des coliformes fécaux. Les rejets des eaux usées domestiques et municipales et parfois industrielles constituent les principales sources environnementales de ces bactéries. En parallèle, les polluants physicochimiques drainés par les eaux résiduaires urbaines et industrielles engendrent autant de préoccupations que les polluants microbiologiques (Figure 25).



Figure 25. Evacuation des déchets solide et liquide par la rivière Kahwa

En vue d'une bonne appréhension de la situation, les tableaux 32 et 33 synthétisent des études réalisées en Afrique sur la caractérisation des eaux de surface (ESU) faisant l'objet des pollutions, sous l'angle tant physicochimique que microbiologique. Les données de ces différentes études sont enrichies valeurs trouvées par Metacalf et Eddy (2003) et DEGREMONT (2005) pour référence. Fort de ce contexte et des enjeux y afférents, il a été entrepris une étude visant au diagnostic de l'état des eaux aussi bien dans des rivières qui traversent la ville de Bukavu que dans de principaux exutoires (collecteurs) domestiques.

Tableau 32. Synthèse de travaux de caractérisation physicochimique des eaux résiduaires urbaines

Paramètre	Auteurs									Synthèse
	A	B*	C	D	E	F	G*	H*	I*	Min-Max
pH (-)	5,7-8,6	7,3-8,04	7,04-7,89	6,5-7,5	9,14	6,99	7,4	-	7,5-8,5	5,7-9,14
Temp. (°C)	24,2-26,3	18,7-26,1	10-24	21,8-26,1	24	27,3	-	-	-	10-27,3
Cond. (µS/cm)	39,5-764	0,64-2,82	219-3920	389-632	378	499,9	-	-	900-1300 ^a	39,5-3920
DCO (mg/l)	7-7600	-	15-47	-	900	131,3	695	250-800	300-1000	7-7600
DBO ₅ (mg/l)	1-2980	2-370	5-37	50-150	375	101	417	110-350	100-400	1-2980
MES (mg/l)	2-527	-	123-2730	5-280	124	94,6	220	120-400	150-500	2-2730
NT (mg/l)	-	-	-	13-42,1	-	-	-	20-70	-	13-70
PT (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	4-14	-	4-14
CF (UFC/100ml)	320-12.10 ⁶	-	-	-	-	82.10 ⁵	2,1.10 ⁷	10 ³ -10 ⁸	-	320-10 ⁸
EC (UFC/100ml)	300-16.10 ³	-	-	-	-	13.10 ⁶	-	-	-	300-13.10 ⁶
SF (UFC/100ml)	0-2,56. 10 ⁶	-	-	-	-	-	2,2.10 ⁷	-	-	0-2,2.10 ⁷

A (Kouam Kenmogne, 2013); B (Sylla & Belghyti, 2008); C (Makhoukh *et al.*, 2011); D (Djuikom, 1997); E (Leseau, 2002); F (Lami, 2002); G (Hamouri *et al.*, 1994); H (Metcalf et Eddy, 2003); I (DEGREMONT, 1989); ^a (Rejsek, 2002); * Au niveau des exutoires domestiques.

Tableau 33. Synthèse de diagnostics des parasites dans les eaux usées

Auteurs	<i>Ankylostoma</i> <i>sp.</i>	<i>E.</i> <i>hystolytica</i>	<i>Giardia sp.</i>	<i>Ascaris sp.</i>	<i>Strongyloides</i> <i>sp.</i>	<i>Trichuris sp</i>	<i>H. diminuta</i>	<i>H. nana</i>	<i>E.</i> <i>vermicularis</i>
	œufs/litre								
Sylla & Belghyti (2008)	3,33	-	-	11,66	-	3,33	3,33	-	3,33
Said AIT MESSAAD (2013)	1,96	-	-	5,95	-	1,61	-	0,36	2,50
Kouam Kenmogne (2013)	-	16	0,5	-	-	-	-	-	-
Metcalf et Eddy (2003)	-	-	10 ⁻¹ -10 ³	-	-	-	-	-	-

5.2 Matériel et méthodes

5.2.1 Milieu d'étude

Cette partie de recherche a porté sur 4 des rivières (Bwindi, Tshula, Wesha et Kahwa) qui traversent la ville de Bukavu ainsi que sur 5 collecteurs d'évacuation des eaux usées (ITFM, Rukumbuka, PIR, Nyamugo et Bagira).

5.2.1.1 Rivières

La **rivière Bwindi** tire sa source dans les marais de Nabindere en territoire de Kabare, à la limite des localités de Cidaho et Mogo. Elle forme en commune de Bagira, la limite entre les quartiers Lumumba et Nyakavogo au nord-est, et entre le quartier Kasha et le territoire de Kabare au sud de la ville. Le long de cette rivière, on trouve à ses abords une végétation à dominante herbacée, servant au gros bétail en élevage extensif. Outre les activités agro-pastorales, il s'y pratique une exploitation de sable servant à la construction. A son passage avant d'arriver au lac, cette rivière borde le vaste bois aménagé de la mission protestante de Bwindi (qui abrite l'école Bwindi), cadre idéal à une avifaune en quête de niche.

Comme la Bwindi, la source de la **rivière Tshula** se trouve en territoire de Kabare. La rivière traverse le quartier urbano-rural de Kasha, continue son cours dans les creux de vallées, et finit par longer la clôture du complexe industriel Pharmakina avant de se jeter dans le lac. La rivière sert de limite naturelle entre les communes de Bagira et Kadutu. Si en son amont (vers Kasha) co-existent d'importantes activités domestiques et pastorales réalisées par les populations, la rivière connaît en aval d'intenses activités anthropiques domestiques (vaisselle, lessive, etc.). Et cela s'observe jusqu'à son embouchure où beaucoup de ménages en quête de logis, se sont installés.

Parallèlement, la **rivière Wesha** forme un bassin hydrographique limité au nord par le lac Kivu comme c'est le cas pour les autres rivières retenues dans cette étude, au sud par le groupement Chomuhimi, à l'est par le Camp TV et Ciriri et par Cikonyi à l'ouest. En outre, elle traverse une zone également fort habitée, servant ainsi à l'évacuation des déchets de cette dernière, puis longe l'enclos de l'industrie brassicole (Bralima) au delà de laquelle elle traverse un espace herbacé non habité, parsemé de bananiers (*Musa spp.*) et de tendance marécageuse avant de se jeter dans le lac Kivu.

Outre les 3 rivières, la **Kahwa**, qui forme la limite géographique entre les communes de Kadutu et Ibanda, peut être considérée comme la plus importante de toutes les rivières traversant Bukavu. En effet, étant donné qu'elle passe au milieu de la ville, drainant ainsi les quartiers les plus denses, dont ceux de la commune de Kadutu et quelques-uns d'Ibanda, la rivière Kahwa possède le bassin versant le plus densément peuplé, et constitue le plus grand exutoire des déchets produits dans la ville. Cette importante pression anthropique implique des rejets très importants et variés, essentiellement des eaux usées domestiques et non

domestiques. De débit modeste principalement en saison sèche comme toutes les autres rivières de Bukavu, son fonctionnement écologique paraît très perturbé lors de son passage dans la ville, au vu de diverses activités tant ménagères que semi-industrielles qui l'influencent. A l'instar des autres rivières de la ville précitées et dans le contexte à pluviométrie élevée (9 mois l'an pour la saison de pluie) et à relief accidenté, sa lame d'eau peut instantanément s'élever à quelques mètres de hauteur lors des orages, fréquents dans la ville. Ainsi, ses eaux débordent du lit, causant d'importants dommages matériels et humains.

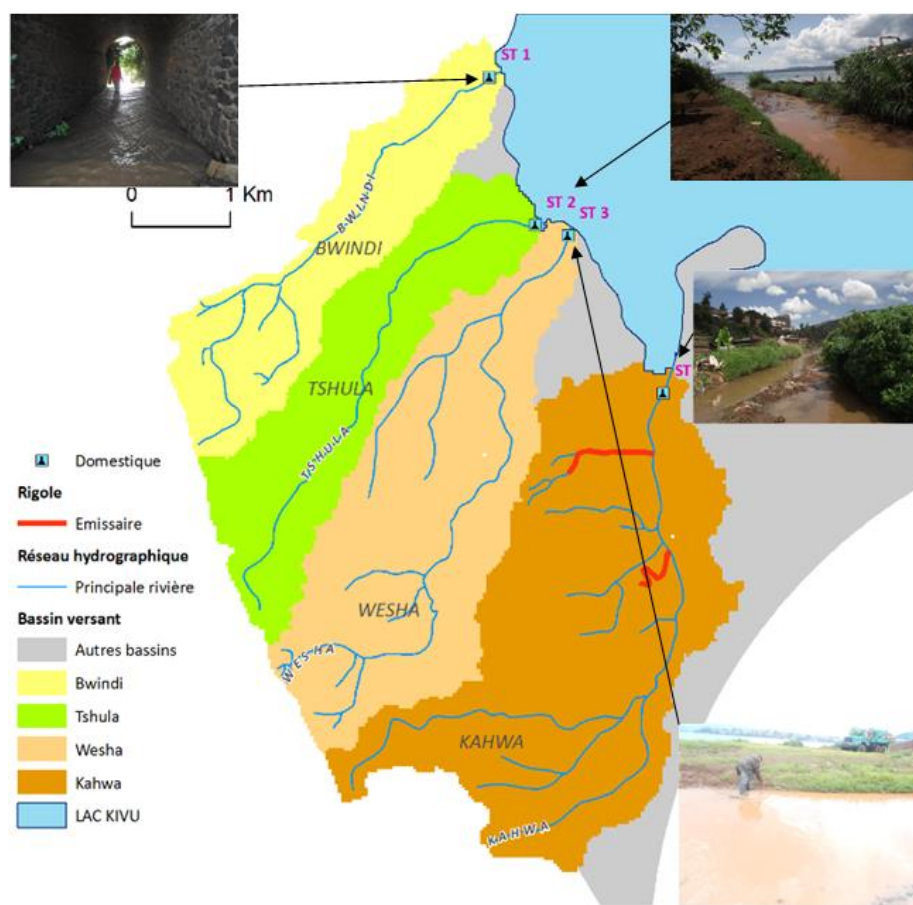


Figure 26. Le réseau hydrographique des rivières étudiées et différentes stations d'étude

En général, les caractéristiques morphométriques (superficie de bassins versants, périmètre, altitude et pente) de ces 4 cours d'eau illustrent le contexte accidenté de leur milieu et les risques potentiels auxquels les riverains et usagers doivent faire face (Figure 26 et Tableau 34), ainsi que les stations de notre étude. En effet, le modèle numérique d'élévation ASTER GDEM V2, publié le 17 octobre 2011, et généré à partir de données recueillies par l'instrument ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflexion Radiometer) a été mis à contribution pour nous permettre d'obtenir la délimitation de bassins versants de ces cours d'eau ainsi que leur description.

Ne faisant pas l'objet majeur de notre recherche et ne voulant pas nous y attarder, les éléments contenus dans ce tableau montrent la sensibilité et une vue décrivant le contexte d'assainissement dans la ville, notamment le caractère accidenté de son relief.

Tableau 34. Caractéristiques des bassins versants de 4 rivières de Bukavu

Caractéristiques	Rivières			
	Bwindi	Tshula	Wesha	Kahwa
Superficie (km ²)	4,4	5,0	4,9	10,4
Périmètre (km)	16,4	17,9	16,2	22
Altitude moyenne (m)	1697	1747	1840	1719
Altitude maximale (m)	2009	2036	2082	2127
Pente moyenne (degré)	15,4	14,8	15,5	14,1
Pente maximale (degré)	37,4	38,8	41	45,4

Source: analyses personnelles

5.2.1.2 Collecteurs

Nous avons retenu 5 exutoires (collecteurs), vu leur importance dans notre zone d'étude. Parmi eux, 4 aboutissent à la rivière Kahwa dont le bassin versant abrite une forte densité humaine et par conséquent, plusieurs activités (marchés, hôpitaux, divers ateliers, diverses unités de productions secondaire et tertiaire, etc.), tandis que le collecteur de Bagira dessert une bonne partie du quartier Lumumba et débouche sur la rivière Nyamuhinga qui gagne le lac Kivu en traversant la Route Nationale 4 qui mène vers l'aéroport de Kavumu et la ville de Goma comme c'est le cas pour les 3 autres rivières. Ainsi, outre le collecteur de Bagira, il s'agit des collecteurs d'ITFM, Rukumbuka, PIR et Nyamugo.

Le collecteur d'ITFM, qui draine les eaux usées des habitations du quartier surplombant l'école technique d'ITFM, en quittant l'enceinte de cette dernière, traverse une zone qui connaît souvent des érosions et déplacement de terres ainsi que la route d'ISTM, frôle le lycée Wima à droite, puis s'engage dans un bois aménagé, et longe la route menant vers ISDR et Economat catholique à Bugabo, puis se jette finalement dans la Kahwa à côté de Chéché et en face de la prison centrale de Bukavu.

Le collecteur de Rukumbuka vient des zones surélevées de Bukavu, notamment de Funu et Cimpunda, passe à côté de la source de Funu qui fournit de l'eau de boisson à un nombre important d'habitants dudit quartier. Il continue son cheminement en descendant des pentes souvent fortes, passant par Rukumbuka à côté de la maison communale de Kadutu et la paroisse catholique Saint François. Ensuite, il traverse la route menant au grand stade de Kadutu, borde le quartier populaire de Nyamugo (non loin du grand stade), puis traverse successivement les quartiers Camp Zaïre (en bordant à droite le marché appelé Limanga) et Industriel, et débouche finalement sur la rivière Kahwa. Il est le plus long de tous et draine les zones à forte densité humaine et généralement de bas standing.

Le collecteur de PIR draine les eaux d'une partie de Nyamugo (quartier à une grande densité humaine et revêtu d'un tissu urbain anarchique et de bas standing, à l'image des favelas brésiliens). Bordant le marché de Limanga à gauche, il continue son parcours devant le poste de la police de PIR et aboutit à la Kahwa dans le quartier Industriel en aval du rond-point connu sous le nom d'Olive.

Le collecteur de Nyamugo (dit aussi Nyamugo soko) draine les eaux du quartier Buholo avant de passer par le grand marché de Nyamugo, dont l'effectif des étalages est estimé à 22000 et qui attire plusieurs dizaines de milliers de visiteurs chaque jour (Mairie de Bukavu, 2014). Ensuite, il finit sa course à la Kahwa, toujours dans le quartier Nyamugo.

Le collecteur de Bagira draine la quasi-totalité du quartier Lumumba (sous-quartiers A, B, C et D). Jadis, fonctionnant à côté d'un égout sanitaire (réseau séparé) aujourd'hui non fonctionnel comme la majorité d'égouts de la ville, et dont la mission était limitée à l'évacuation des eaux pluviales, ce collecteur reçoit aujourd'hui toutes les eaux usées générées (sanitaires et pluviales) dans cette partie de Bukavu. Sa maçonnerie semble être encore maintenue, ce qui limite les risques d'éboulements et de débordements en temps de pluie.

5.2.2 Méthodologie

Les données de cette recherche ont été récoltées en saisons sèche et pluvieuse, qui caractérisent la ville de Bukavu, et suivant une démarche méthodologique incluant les aspects de la physicochimie et de la microbiologie (bactériologie et parasitologie). Les mesures des débits et échantillonnages sur les rivières et les exutoires domestiques ont été réalisés hebdomadairement de manière alternative, et suivant un pas de deux semaines au niveau de chacune de stations.

Ainsi, les mesures des débits et le prélèvement des échantillons se déroulaient de 7 h à 18 h, à raison d'une mesure et un prélèvement d'eau à chaque heure lors de chacune de campagnes destinées à la caractérisation physicochimique. Celle-ci a porté sur les saisons sèche (juin-juillet-août 2013) et humide (janvier-février-mars 2014). Par ailleurs, la caractérisation microbiologique s'est étalée entre juin 2013 et mars 2014, soit 10 mois de recherche, toujours suivant un pas de deux semaines.

En somme, nous avons retenu dans ce chapitre, neuf stations, dont quatre sur les rivières, à raison d'une station par rivière (Figure 26) et à environ 100 m en amont de l'embouchure, alors que cinq autres stations sur les exutoires domestiques ont été retenues, à raison d'une station par exutoire et localisée à environ 15 m du point de rejet dans la rivière, afin de maximiser les chances de réunir la quasi-totalité d'informations à tirer de chacun des exutoires.

5.2.2.1 Débit

Le débit a été réalisé selon la méthode au Ful à bulles (Defayt *et al.*, 1995) (Figure 27), et dont le principe consiste en l'injection des bulles au fond du cours d'eau, qui en remontant,

sont animées du mouvement translationnel associé à la vitesse du courant et du mouvement ascensionnel en se déplaçant vers l'aval jusqu'à atteindre la surface. En admettant constante la vitesse de remontée de la bulle, la distance parcourue par la bulle entre les points d'injection et d'émergence correspond à une intégration du champs des vitesses sur la verticale correspondante. La mesure étant effectuée en plusieurs points selon le profil transversal de la rivière, une surface S proportionnelle au débit peut être obtenue en reliant entre eux les différents points de sortie des bulles. Le principe est identique à celui de la mesure des débits au moyen d'un moulinet à remontée automatique.

L'appareil (Ful à bulles) est composé de: une perche d'injection longue de 1m, un injecteur possédant un orifice de 0,3 mm et situé au bout de celle-ci, un embout décalé d'une dizaine de cm vers l'aval pour éviter les perturbations d'écoulement par la perche lors de l'injection, un tuyau souple assurant la connexion entre la perche et un petit compresseur d'air alimenté par piles, un niveau à bulle fixé sur la perche afin d'assurer la verticalité de cette dernière. Rappelons qu'une station était choisie: à environ 100 m en amont de l'embouchure pour les rivières, et à 10 m en amont du point de rejet dans les rivières pour les collecteurs. Le choix de ces distances se justifie par le souci d'obtenir la quasi-totalité des informations charriées par ces rivières et collecteurs.

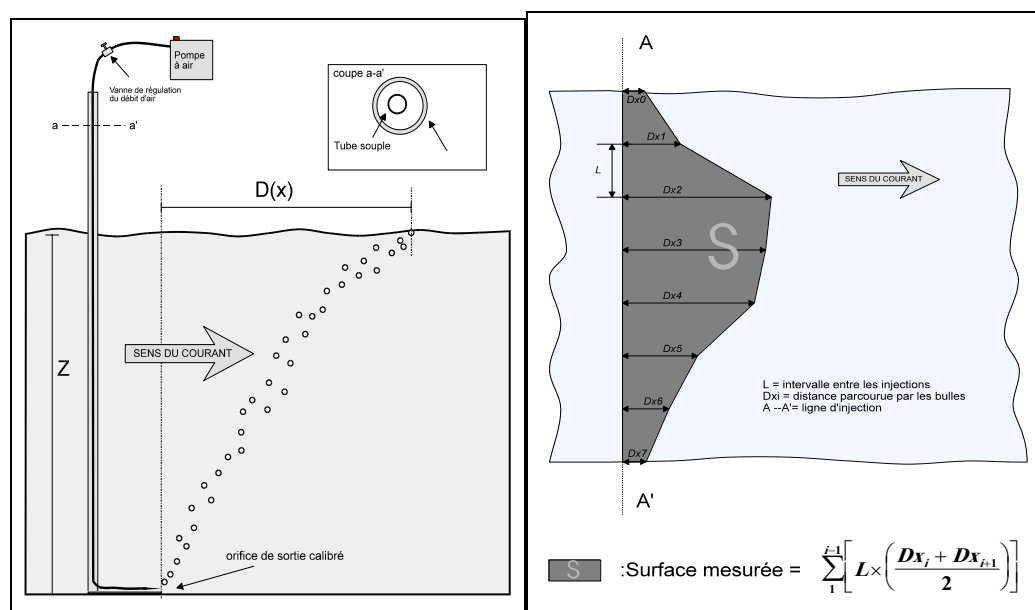


Figure 27. Ful à bulles et calcul de surface délimitée par les bulles d'air (Dufayt et al., 1995)

Au total, 144 mesures de débit et 144 prélèvements ont été réalisés sur chacun des exutoires et rivières lors de chacune de deux saisons, pour une double raison. D'une part, les mesures des débits ont permis d'obtenir une variabilité hydrologique de différentes hauteurs d'eau en dehors des événements pluvieux, option dictée par les limites (contraintes) de la méthode au Ful à bulles, qui ne convient pas à partir d'une certaine hauteur d'eau (1 m). Vu le fonctionnement en régime torrentiel de ces rivières lors des événements pluvieux dans un contexte élevé d'altitude et des pentes, la hauteur des eaux

des rivières de Bukavu peut grimper instantanément à plusieurs mètres. D'autre part, le choix de procéder aux différents prélèvements s'est justifié par souci de travailler sur des échantillons composites, plus représentatifs. Partant de ces motivations, on a réalisé un essai de tarage de 4 rivières de Bukavu (Bwindi, Tshula, Wesha et Kahwa).

Pour y parvenir, le principe veut que la mesure des hauteurs d'eau se fasse sur un repère fixe en mesurant la différence d'altitude entre ce repère et la surface du plan d'eau. Habituellement, on emploie une règle graduée fixée sur un support (échelle limnimétrique) pour permettre une lecture et une comparaison rapides de différentes hauteurs. La démarche normale de cet exercice se décline de cette manière: réaliser une série de campagnes de mesures à différentes périodes de l'année sur une station dont on veut tarer l'échelle, de manière à couvrir des régimes hydrologiques variables pour obtenir diverses hauteurs d'eau; noter le niveau de l'échelle en chaque campagne et réaliser les mesures nécessaires au calcul du débit instantané, le nombre des campagnes de mesures nécessaires au tarage de l'échelle étant variable; reporter les résultats obtenus sur un graphique comportant deux axes cartésiens [X (hauteur) et Y (débit)]. Cette façon de procéder laisse considérer que chaque point sur le graphique représente une campagne de mesures.

Dans nos recherches, étant donné que les stations se trouvaient à proximité des habitations qui sont installées le long des cours d'eau jusqu'au niveau des embouchures généralement, chaque fois que nous placions nos cannes graduées servant de repère, celles-ci faisaient l'objet de vandalisme (enlevées et emportées ou jetées). Pour palier à ce désagrément, nous avons identifié sur chacune de rivières, une armature bétonnée au niveau de lits et sur laquelle nous arrêtons un repère considéré comme notre point zéro.

Pour éviter de s'écarter de ce point lors de différentes campagnes, on prenait la distance entre sa position et un point identifié sur une barre métallique ou un béton au niveau de la berge. Ce faisant, en chaque campagne, nous prenions la profondeur de la rivière à partir de notre point zéro, grâce à une règle graduée, avant toute mesure de débit qui se faisait en chaque heure de la campagne pour chaque rivière. Nous rappelons encore que l'essai de tarage n'a été fait que sur les 4 rivières et non sur les collecteurs.

A la rigueur, les courbes de tarage obtenues ne peuvent pas être appelées comme telles, car l'idéal pour la détermination d'une courbe de tarage, demande un recueil de données s'étendant à long terme, comprenant les différents événements qui affectent la rivière et suivant une répétition de cycles de mesures. C'est pourquoi nous considérons l'approche effectuée pendant une saison comme étant un essai de tarage, réalisé pendant 3 mois suivant un pas de 15 jours sur chacune de 4 rivières.

5.2.2.2 Echantillonnage

Constituant une étape de très grande importance, le prélèvement d'un échantillon est une opération délicate et nécessite le plus grand soin possible. En effet, il influence et conditionne la qualité des résultats analytiques ainsi que leur interprétation. En vue d'une

bonne exécution, un plan d'échantillonnage s'avère indispensable avant la descente sur terrain. Cette façon de faire se justifie non seulement dans le but de contrôle logistique, mais aussi pour mener une évaluation préalable du programme d'échantillonnage, pour maximiser les chances qui permettent que les résultats finaux répondent de manière suffisante à la problématique dont il s'agit.

L'objectif étant de prélever une quantité d'eau de volume suffisant et susceptible d'être transporté aisément au laboratoire et d'y subir des analyses. Représentativité et fidélité sont des notions qui doivent caractériser cette phase.

Etant donné que notre étude a concerné 4 rivières, 5 collecteurs d'eau domestiques, ainsi que 2 émissaires industriels (brassicole et pharmaceutique) qui feront l'objet du chapitre 7, les échantillons destinés successivement aux analyses physicochimiques et microbiologiques des rivières et des exutoires se faisaient par semaine de manière alternative : une semaine pour les rivières et une autre pour les exutoires.

Ainsi avons-nous réalisé 2 types d'échantillonnage : instantané et moyen pondéré par rapport au débit (composite). En rapport avec le type instantané, après un rinçage à de l'eau à échantillonner, les échantillons ont consisté en des prélèvements dans des flacons stériles en verre de 500 ml, bouchés à l'émeri et les flacons en plastique de 2000 ml, destinés respectivement aux analyses bactériologiques et parasitologiques. Les prélèvements se faisaient chaque fois entre 6 et 9 heures, le moment considéré comme d'intenses activités (Cissé *et al.*, 2011).

En parallèle, l'échantillonnage composite destiné à la caractérisation physicochimique, a été effectué par des prélèvements horaires des eaux en chacune de stations retenues, de 6 h à 18 h. Avant tout prélèvement, on procédait d'abord aux mesures de débits comme c'est indiqué au point relatif au débit. En fait, une station était retenue en chacune de rivières et en chacun de collecteurs. A la fin de la journée, on disposait d'une dizaine d'échantillons dont il fallait constituer un seul en fonction de leurs débits respectifs: l'échantillon ainsi obtenu était composite ou moyen pondéré au débit. Au vu de la limitation des flacons Oxitop dont on dispose (6 au total), on a jugé bon d'alterner les travaux relatifs aux rivières et aux collecteurs de manière hebdomadaire.

Pour rappel, les campagnes menées ont couvert les deux saisons (sèche ou humide) qui prévalent dans la ville de Bukavu: en rapport avec le volet physicochimique, 6 campagnes ont été effectuées suivant un pas de 14 jours de juin à août 2013 et 6 autres de janvier à mars 2014, alors que pour le volet microbiologique, 20 campagnes au total ont été réalisées de juin 2013 à mars 2014 suivant un pas de 14 jours.

5.2.2.3 Conservation et transport

Du fait que la teneur initiale de l'échantillon en germes (bactéries) peut subir dans le flacon après prélèvement, des modifications pouvant être causées par bien des facteurs (température, compétition entre différentes espèces présentes, composition chimique de l'eau), Rodier (1984) recommande de transporter les échantillons dans les glacières et le plus rapidement possible. Pour les échantillons destinés aux analyses de parasitologie, les prélèvements ont été réalisés suivant les recommandations de la méthode de Bailenger telle que modifiée par OMS (1997).

Ainsi, à chaque prélèvement, les échantillons étaient placés dans des boîtes isothermes à 4°C. Cela étant, les échantillons instantanés et destinés aux analyses microbiologiques étaient acheminés directement aux laboratoires pour les analyses bactériologiques (laboratoire de l'Hôpital Provincial Général de Référence de Bukavu-HPGRB) et parasitologiques (laboratoire de l'Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bukavu-ISTM/Bukavu).

Pour le volet physicochimique, on disposait à chaque station (une station par rivière ou collecteur) d'une boîte isotherme car les prélèvements se faisaient en chaque heure et étaient directement placés dans les boîtes isothermes afin d'éviter leur évolution. Le soir, les échantillons étaient acheminés au laboratoire de l'Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu-ISP/Bukavu où nous procédions à la constitution des échantillons moyens pondérés au débit et à relancer les manipulations.

5.2.2.4 Analyses au laboratoire

A l'instar des paramètres (pH, température et conductivité) lus *in situ*, les analyses *in vitro* ont été réalisées dans trois laboratoires différents (Tableau 35). Ces analyses ont été réalisées suivant différents protocoles reconnus à chacun de paramètres retenus et dont les libellés sont repris en annexe de cette thèse par souci d'économie d'espace. De manière spécifique, la méthode de Bailenger modifiée (OMS, 1997) permet une bonne concentration de kystes (œufs) et identification de parasites qu'il faut dénombrer. La lame de Mac Master permet le comptage des œufs ou larves d'helminthes contenus dans un volume connu de solution. Pour déterminer le nombre total des œufs de parasites par litre d'eau, le rapport suivant a été utilisé:

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

Où N=Nombre d'œufs par litre d'eau usée, A=Nombre d'œufs comptés sur la lame Mac Master, X=Volume du produit final en ml, P=Contenance de la lame Mac Master (0,3 ml), et V=Volume de l'échantillon initial d'eau usée à analyser

Tableau 35. Approche méthodologique

Paramètres	Méthodes	Matériels	Lieu
Analyses physicochimiques			
pH	Lecture directe	multi sondes de marque HANNA HI 9828	In situ
Température			
Conductivité			
MES	NF EN 872	Dispositif de filtration sous	Laboratoire UERHA
DCO	ISO 15705	Kit	
DBO ₅	Manométrie	Oxitop	
Azote total (NT)	Sur kit	Kit	
Phosphore total (PT)	Sur kit	Kit	
Analyses bactériologiques			
Coliformes fécaux (CF)	Filtration sur membrane	Gélose lactosée au tergitol	Laboratoire HPGRB
Streptocoques fécaux (SF)	Filtration sur membrane	Gélose à la bile-esculine et	
Escherichia coli	Filtration sur membrane	Rapid E coli de Bio-Rad	
Clostridium sulfito-	Filtration sur membrane	Gélose au sulfite-agar-fer	
Analyses parasitologiques			
Kystes (œufs) de parasites	Bailenger modifié	Lame de Mac master	Laboratoire

Ceci pour apprécier la richesse spécifique qui est un indicateur écologique traduisant la capacité d'accueil d'un milieu et intervenant dans l'expression du nombre total d'espèces rencontrées dans le biotope concerné, en renseignant sur les préférences du milieu d'une espèce donnée (Dajoz, 2000). Il s'agit de compter le nombre de fois que l'espèce *i* apparaît dans les captures. En d'autre terme, c'est le rapport exprimé en pourcentage entre le nombre d'échantillons (F_i) où l'espèce *i* apparaît et le nombre total d'échantillons (F_t) de l'unité biocénotique considérée. Il s'obtient selon la formule :

$$F = \frac{(F_i \times 100)}{F_t}$$

Selon la valeur de *F*, la classification suivante est adoptée (Dajoz, 2000): espèces constantes (présentes dans plus de 50% des échantillons); espèces accessoires (25 à 50% des échantillons) ; espèces accidentelles (présentes dans moins de 25% des échantillons).

En plus, nous avons fait appel à l'indice de Sorensen pour comparer les rivières deux à deux sur la base de la présence et de l'absence des spécimens obtenus dans les différents échantillons. Cet indicateur a donc permis de mesurer la ressemblance entre deux communautés; il s'obtient suivant la formule :

$$C = \frac{2j}{a+b} \quad \text{où: } a = \text{Nombre de taxons à la station A ; } b = \text{Nombre de taxons à la station B ;}$$

j = Nombre de taxons communs aux deux stations.

La plage de variation s'étend de 0 (absence de similarité) à 1 (milieux identiques).

En somme, en vue de bien traiter et interpréter les données obtenues lors de différentes campagnes sur lesquelles a porté notre recherche, nous avons recouru aux logiciels Statistica version 10 et SAS (statistical analysis software, version 9.2).

5.3 Résultats et discussion

Les résultats que nous présentons, se rapportent aux mesures de débits et analyses physicochimiques, bactériologiques et parasitologiques menées dans le cadre de la caractérisation des pollutions domestiques drainées par les rivières et les collecteurs de Bukavu. En effet, toute initiative de gestion d'une ressource comme l'eau, ne peut être efficace que lorsqu'elle s'appuie sur des données fiables, susceptibles d'orienter les actions à entreprendre. Du fait que les populations de Bukavu ainsi que les différents acteurs du domaine de gestion d'eau ne semblent pas se préoccuper de rejets dans les écosystèmes aquatiques récepteurs, notre recherche à travers ce chapitre, s'emploie à présenter le faciès physicochimique et microbiologique des eaux de rivières de Bukavu et de ses exutoires domestiques.

5.3.1 Résultats de la caractérisation des eaux de rivières

5.3.1.1 Volet physicochimique

5.3.1.1.1 Mesure de débits et essai de tarage des rivières de Bukavu

Nous présentons dans les figures (28-31), les résultats des mesures de débits et les tarages des rivières Bwindi, Tshula, Wesha et Kahwa suivant les limites de la méthode au Ful à bulles appliquée dans notre recherche. Ces rivières affichent des moyennes de débits en décroissance progressive dès le début de juin qui correspond aux deux premiers jours (Figure 28) de la courbe de la saison sèche, présentant les plus faibles valeurs au jour 43 correspondant à la fin de juillet (Bwindi) et au jour 47 (août) pour les rivières Kahwa, Tshula et Wesha, puis le débit commence à remonter avec l'avènement de premières pluies qui se pointent manifestement dès la seconde quinzaine d'août.

En saison humide, qui dure 9 mois contre 3 mois pour la saison sèche, l'abondance des pluies est à la base de la hausse des débits dans les rivières de Bukavu. Ceci est en adéquation avec Muhigwa (1999), qui signale qu'à Bukavu, les totaux pluviométriques annuels sont compris entre 1000 et 1700 mm, avec 80 % des proportions se situant entre 1200 et 1500 mm.

Ainsi, les plages de variation des débits vont en saison sèche, de 96 à 125 l/s (Bwindi), de 101 à 129 l/s (Tshula), de 105 à 131 l/s (Wesha), et de 148 à 213 l/s (Kahwa), alors qu'en saison humide, elles sont de 162 - 214 l/s, 196 - 242 l/s, 185 - 237 l/s et 309 - 403 l/s respectivement pour Bwindi, Tshula, Wesha et Kahwa. En comparant nos valeurs avec celles trouvées par une équipe de chercheurs congolais, suisses, rwandais et ougandais (Muvundja *et al.*, 2009) sur les rivières arrivant au lac Kivu, entre autres Kahwa et Bwindi, nous constatons que nos résultats ne sont pas très loin des leurs: 160 - 620 l/s (Kahwa) avec une moyenne annuelle de 270 l/s, et 70 - 1220 l/s (Bwindi) avec une moyenne annuelle de 260 l/s. La différence serait liée à la prise en compte par eux des débits relatifs aux fortes pluies et aussi, et au fait que nos valeurs sont les moyennes des mesures horaires effectuées à la

longueur des journées entières (heure par heure et de 7h à 18h) alors que les leurs étaient instantanées.

Par ailleurs, nous pouvons affirmer que l'augmentation des débits en saison humide peut constituer un aspect important à prendre en compte car elle est responsable de gros flux de pollutions évacués par les rivières directement dans le lac. En plus, on peut remarquer un aspect commun aux rivières de Bukavu en saison sèche pendant laquelle ces rivières montrent la forte influence qu'elles subissent par rapport aux activités anthropiques.

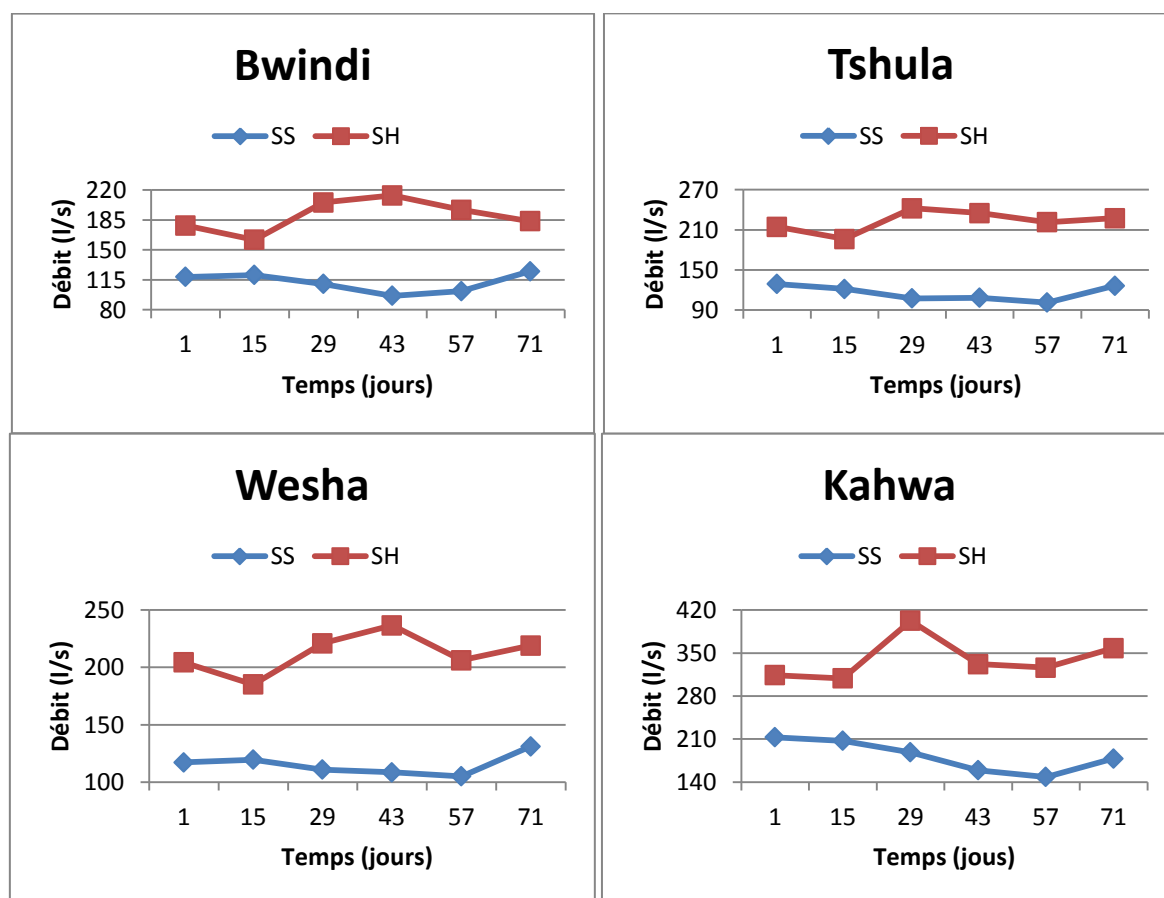


Figure 28. Evolution de débits dans les rivières de Bukavu en saisons sèche (SS) et humide (SH)

En effet, en saison sèche, les débits sont plus élevés le matin et diminuent au fil de la journée pour remonter aux heures vespérales (Figure 29), moment correspondant à la diminution des activités professionnelles au profit des activités domestiques.

Ces pressions consistent principalement en prélèvements des eaux intervenant dans diverses activités anthropiques, notamment le boum immobilier que connaît la ville et qui requiert de grosses quantités d'eau. A côté du secteur immobilier et de la construction, ces prélèvements sont aussi signalés dans les activités maraîchères réalisées pour subvenir tant que faire se peut, aux besoins alimentaires de populations. En saison humide par contre, les courbes de débits évoluent en dent de scie, avec une tendance à la hausse le soir et le matin.

Cela se justifie tout simplement par l'influence des pluies qui tombent généralement les après-midi (Ilunga, 1989; Muhigwa, 1999).

En effet, en accord avec Ilunga (1977), les stratus, altostratus et nimbostratus générateurs de pluies moyennes sont rares dans la ville de Bukavu, alors que les cumulus et cumulostratus générateurs d'averses dominent. Les pluies d'intensité moyenne de 5 à 20 mm/h représentent jusqu'à 32,8% des pluies de Bukavu, et celles de très fortes intensités (plus de 20 mm/h) représentent 6,7% (Ilunga, 1989).

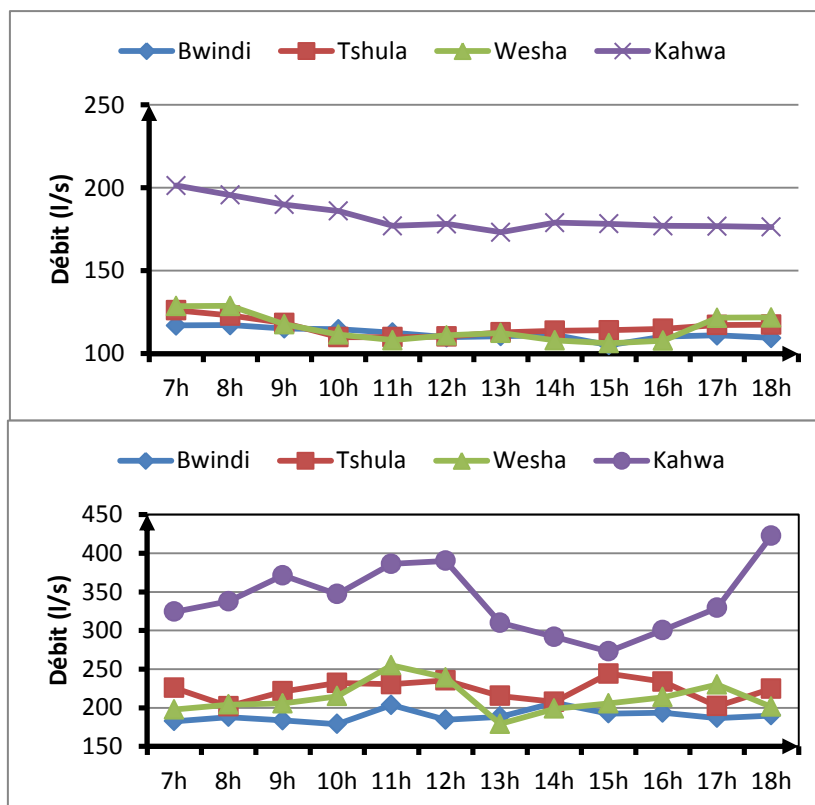


Figure 29. Débits horaires de rivières étudiées en saisons sèche (en haut) et humide (en bas). Les variations sont plus marquées en période humide qu'en période sèche.

Par ailleurs, les essais des tarages de rivières sont représentés par la figure 30. Les courbes de tarage obtenues s'adaptent à une équation exponentielle avec des coefficients de détermination (R^2) de débits en fonction des profondeurs de 0,701 (Bwindi), 0,784 (Tshula), 0,879 (Wesha) et 0,949 (Kahwa). L'observation de ces courbes montre une allure moins bonne en rivière Bwindi qu'aux autres rivières (Tshula, Wesha et Kahwa). L'envasement régulier de la station par des mottes de terre charriées par la rivière à topographie instable, pourrait expliquer l'altération de la courbe obtenue dans cette rivière. Des mesures correctives pourraient y être apportées en mettant en place un programme qui permettrait des mesures régulières de débit et l'emploi de maçonnerie pour fixer et stabiliser les échelles limnimétriques.

Cependant, nous ne pouvons nullement considérer ces courbes comme définitives du fait que non seulement elles concernent une seule saison, en lieu et place de deux saisons que connaît la ville de Bukavu, mais aussi du fait qu'elles ne reprennent pas les situations pluvieuses ayant occasionné une hauteur supérieure à 40 cm. En effet, à cette profondeur dans les rivières de Bukavu, les bulles d'air sortant du Ful à bulles ne sont plus visibles à cause des charges en déchets et matières colloïdales drainées et des courants qui caractérisent ces rivières à comportement torrentiel en saison de pluie. Une méthode qui permettrait d'aller au-delà du seuil 40 cm qui caractérise les courbes que nous avons obtenues, serait à conseiller pour obtenir des tarages définitifs.

La méthode de traçage, dont le principe repose sur le jaugeage par injection instantanée d'un traceur chimique (rhodamine, bichromate de sodium, chlorure de lithium ou de sodium) et à condition d'avoir un bon conductimètre (non applicable pour la rhodamine), serait à conseiller; cependant, dans le contexte de Bukavu, le chlorure de sodium conviendrait mieux car il est bon marché, hydrosoluble et moins nocif dans l'environnement (Rodier, 1996). Le traçage au sel est donc possible, à condition de tenir compte de la ligne de base et d'étalonner avec l'eau de la rivière.

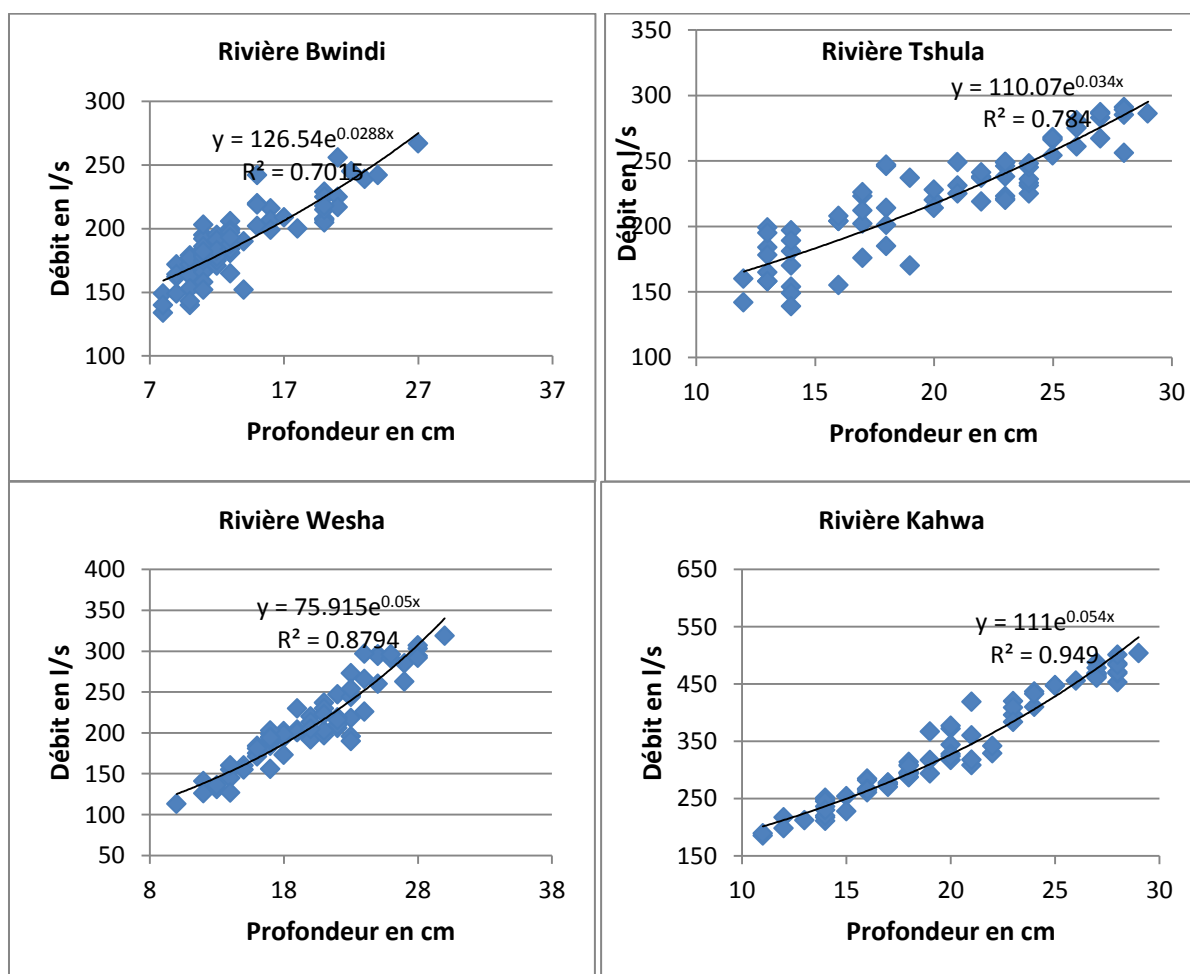


Figure 30. Courbes de tarage obtenues dans les rivières de Bukavu

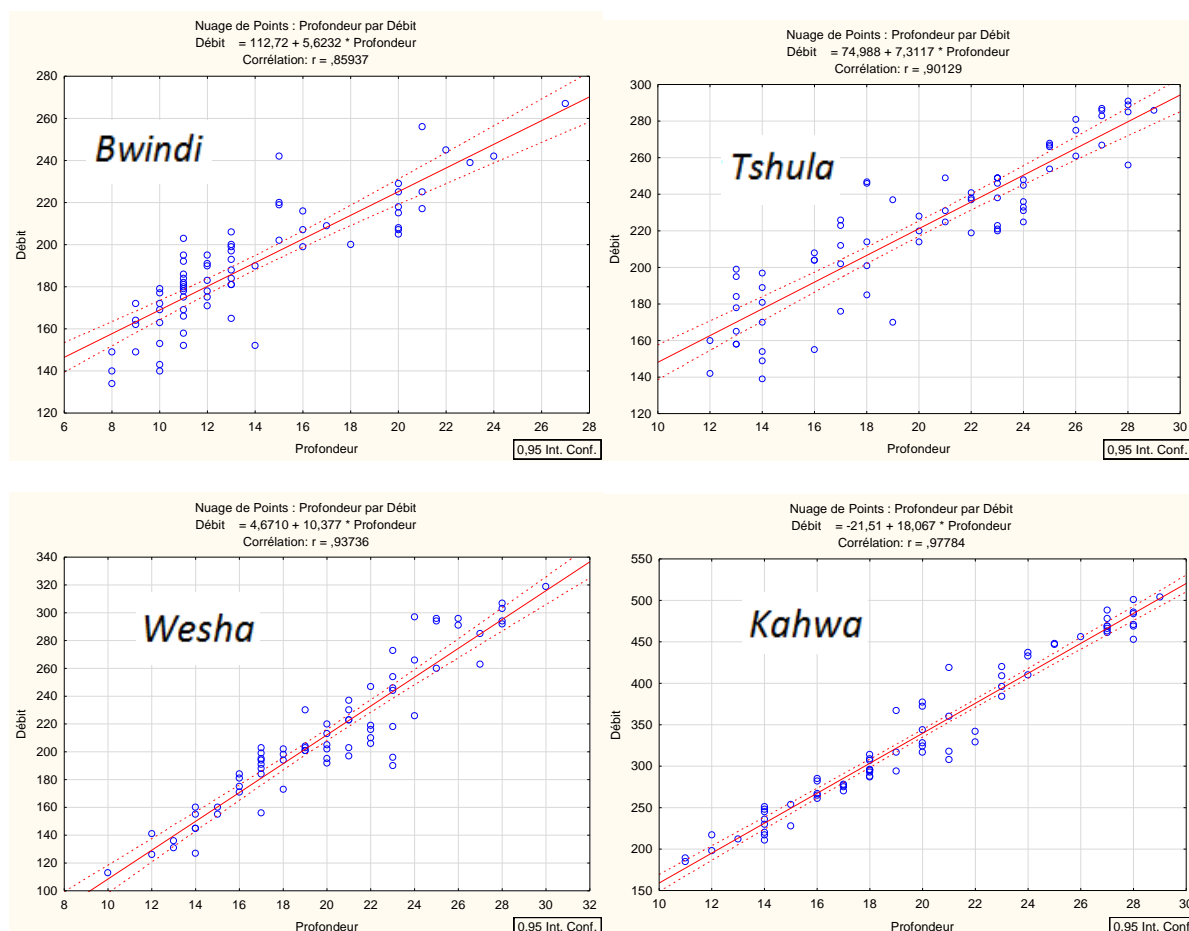


Figure 31. Validation de courbes de tarage des rivières de Bukavu

Il faut noter que même si les régressions sont globalement correctes, il y a aussi beaucoup de points en dehors des limites des intervalles de confiance. Cela veut dire que les mesures sont améliorables, mais c'est peut-être difficile en pratique, compte tenu des contraintes locales. Etant donné que les lits mineurs de ces rivières sont généralement étroits, une différence de 15 à 20 cm en hausse peut entraîner plus que le doublement du débit de chacune de ces rivières. Ceci émerge des caractéristiques des rivières de zones des montagnes.

5.3.1.1.2 Le pH, la température et la conductivité

En rapport avec le pH dans les rivières de Bukavu, l'étude montre que les eaux restent alcalines, tant en saison sèche qu'en saison humide. Le décalage *maxima-minima* de leurs valeurs n'excède pas l'intervalle d'une unité, surtout en saison sèche, aux rivières Tshula (7,8 - 8,5) et Wesha (7,7 - 8,7), et dépasse légèrement l'unité aux rivières Bwindi (7,4 - 8,8) et Kahwa (7,4 - 8,6). En saison humide, les plages de variation du pH présentent des valeurs extrêmes que connaissent ces rivières: 7,2-8,6 (Bwindi), 8,2 - 9,1 (Tshula), 7,9 - 8,9 (Wesha), 7,8 - 8,6 (Kahwa). Ce qui nous pousse à penser que cette alcalinité tiendrait principalement à la nature basaltique des sols de Bukavu. En plus, les rejets divers, dont ceux provenant de dizaines de structures de production de savons directement connectées aux rivières,

contribueraient aussi à cette alcalinité. Nos résultats sont aussi en adéquation avec ceux signalés par Ittis et Lévêque (1982) qui indiquent quant eux que l'alcalinité des eaux des rivières en zones tropicales serait liée à l'abondance des phytoplanctons et des activités photosynthétiques.

Les températures restent élevées dans les rivières de Bukavu (Figure 32) et sont situées entre 22,5 et 27,6 °C en saison sèche, et dans l'intervalle de 20,7 à 25,9 en saison humide, hormis à Bwindi où nous avons pu noter une valeur de 18,4 °C au jour 71. Nos résultats sont caractéristiques des rivières du milieu tropical, et sont inclus dans l'intervalle que nous avons relevé dans la plupart des travaux en zone tropicale, tel que signalé au début de ce chapitre (Tableau V.1). Cependant, elles semblent être plus élevées en saison sèche qu'en saison humide. Selon que l'on est dans le centre-ville qui est fortement peuplée ou l'on s'en éloigne vers la périphérie, relativement moins peuplée, on traverse successivement la Kahwa, la Wesha, la Tshula et la Bwindi. Cette répartition fait remarquer que les rivières du centre ont des températures relativement plus élevées que celles de la périphérie. Ceci nous permet de penser au caractère anthropique comme un facteur explicatif de la hausse relative des températures dans les villes de Bukavu. Etant en dessous de 30 °C, les valeurs des températures trouvées dans ces rivières ne sont pas alarmantes aux seuils déterminés. En effet, Rodier (1984) stipule qu'au delà de 30 °C, cela peut présenter un danger en milieu récepteur.

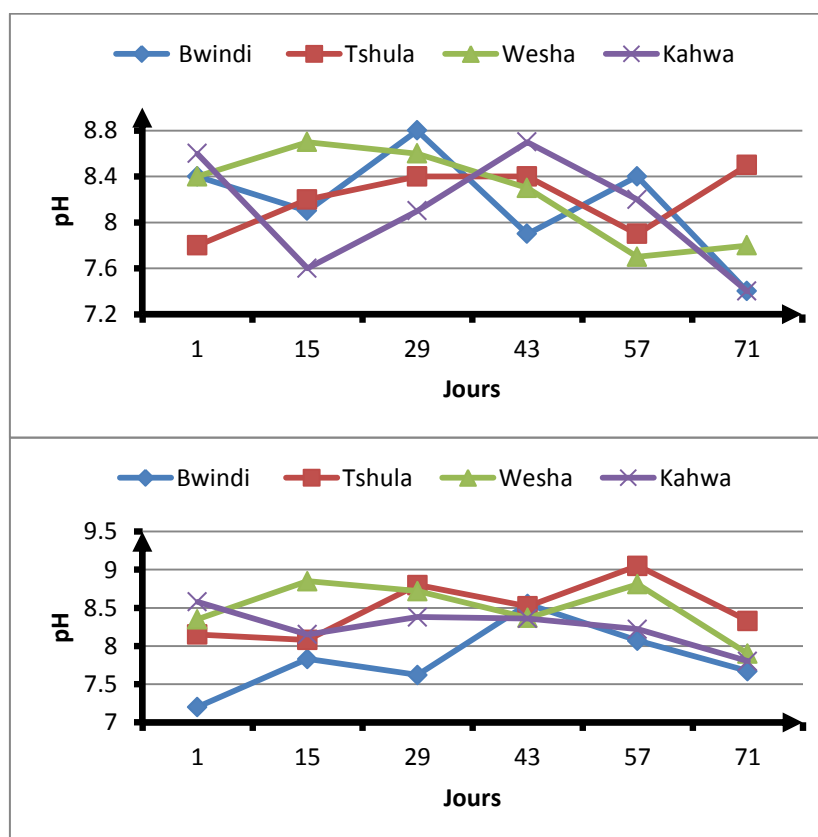


Figure 32. Variation saisonnière du pH des eaux de rivières de Bukavu en saisons sèche (en haut) et humide (en bas)

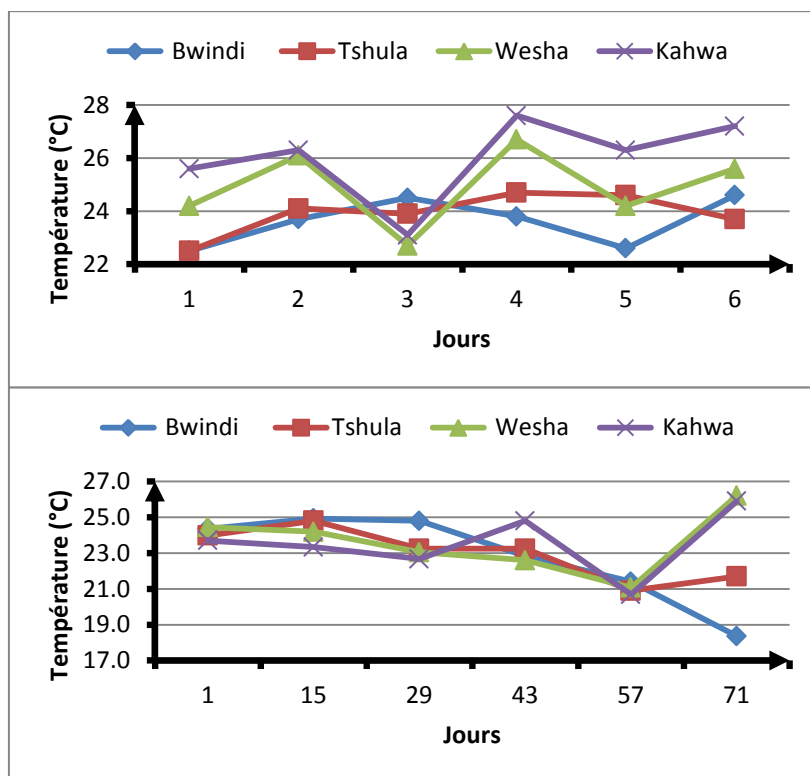


Figure 33. Variation de la température des rivières en saisons sèche (en haut) et humide (en bas)

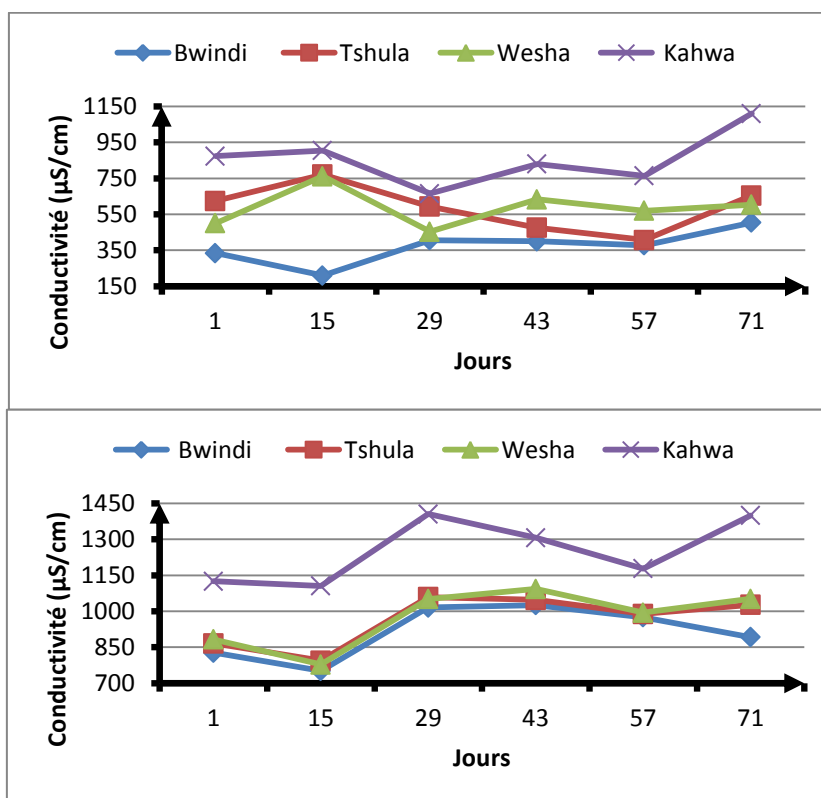


Figure 34. Variation de la conductivité des eaux de rivières en saisons sèche (en haut) et humide (en bas)

Rappelons que la température de l'eau étant reconnue comme un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud, 1968; Rodier, 1984), elle agit aussi bien sur les propriétés de l'eau (densité, viscosité, solubilité des gaz, etc.) que sur le métabolisme des organismes autochtones et allochtones (WHO, 1987).

Dans les rivières de Bukavu, l'évolution de la conductivité présente un double comportement selon les saisons: elle est relativement plus élevée en saison humide qu'en saison sèche. En effet, en saison sèche, la conductivité en $\mu\text{S}/\text{cm}$, varie entre 209 et 504 (Bwindi), 407 et 771 (Tshula), 453 et 762 (Wesha), et 665 et 1111 (Kahwa). Par contre, en saison humide, elle présente en général des valeurs très élevées et variant, en $\mu\text{S}/\text{cm}$, de 751 à 1026 (Bwindi), 794 à 1059 (Tshula), 778 à 1093 (Wesha), et 1106 à 1406 (Kahwa). Le profil de la conductivité dans ces rivières, est similaire à celui de la température; il décroît au fur et en mesure que l'on s'éloigne des rivières du centre-ville (Kahwa étant la plus centrique) vers celles de la périphérie (Bwindi étant la plus éloignée). Ainsi pouvons-nous imputer aux activités anthropiques (exploitation des graviers, ramassage divers, etc.) la responsabilité de cette distribution dans les rivières de Bukavu.

Par contre, la primauté de la saison humide sur la saison sèche, serait tout simplement liée aux ruissellement et lessivage. Les travaux de construction en plein expansion dans la ville et qui se réalisent même sur ces rivières, en conjugaison avec la perte du couvert végétal et le dénudement des sols auxquels s'associent la pluviométrie souvent en formes d'orages, expliqueraient les valeurs élevées de la conductivité dans ces rivières.

C'est sur base de cette considération que la Kahwa affiche des valeurs les plus élevées de toutes les conductivités lues. En outre, nous nous permettons de faire remarquer que les conductivités augmentent dans les rivières de Bukavu avec l'augmentation des débits (crues). Ceci nous conduit à dire que le phénomène de la dilution des charges dissoutes minérales avec la forte augmentation des débits, ne s'applique pas dans ces rivières; ce qui est paradoxal à bien des cas signalés dans les grands fleuves du monde (Probst, 1992; Orange, 1992).

Aussi peut-on faire remarquer que le degré de minéralisation semble être très poussé au point que le dépassement de la limite arrêtée par l'OMS (2011), à savoir 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, a été observé dans les rivières. Cette anomalie pourrait également provenir du fait que les pluies charrient les dépôts accumulés dans les caniveaux.

5.3.1.1.3 Des pollutions majeures dans les rivières de Bukavu

Les résultats en rapport avec les pollutions majeures, sont présentés dans les figures (35-37). La figure 35 montre qu'en saison sèche dans les rivières de Bukavu, la DCO affiche des valeurs similaires à celles des effluents urbains classiques (entre 300 et 1000 mg/l-DEGREMONT, 1989; Metcalf et Eddy, 2003), hormis la rivière Kahwa qui présente quelques fois des dépassements desdites valeurs. En saison humide, ces rivières sont caractérisées par

de grandes concentrations de matières réductrices. Le manque de système d'assainissement dans la ville favorise les rejets incontrôlés dans les rivières et expliquerait ces pollutions.

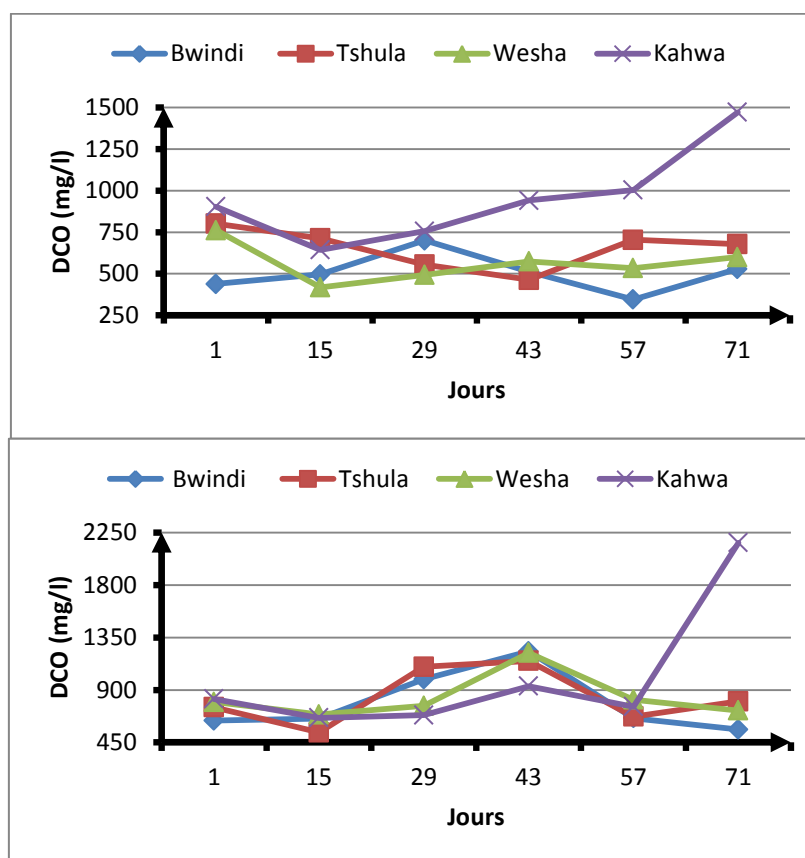


Figure 35. Variation saisonnière de la DCO dans les rivières (SS en haut et SH en bas)

Quant à la DBO_5 , les concentrations mesurées se trouvent dans l'intervalle des valeurs des effluents urbains (100-400 mg/l-DEGREMONT, 1989; Metcalf et Eddy, 2003) en saison sèche en dépit de quelques écartements remarquables dans le sens de la hausse. Les teneurs (mg/l) vont de 106 à 348 (Bwindi), 217 à 358 (Tshula), 246 à 407 (Wesha) et 262 à 701 (Kahwa). En saison sèche, paraissent des valeurs fort élevées et variant entre 215 et 519 mg/l (Bwindi), 228 et 515 mg/l (Tshula), 297 et 593 mg/l (Wesha), 288 et 1058 mg/l (Kahwa). La prépondérance de la saison humide sur la saison sèche s'explique par le fait que la plupart des ménages et diverses structures de production préfèrent stocker leurs déchets (effluents) dans les enceintes de leurs parcelles, les rejetant dans les rivières utilisées comme exutoires en saison humide lors des pluies (Figure 36).

Ces résultats montrent que les rivières de Bukavu font l'objet de graves pollutions qu'elles exportent dans le lac. Rappelons que les conséquences des pollutions carbonées dans les écosystèmes aquatiques, sont multiples, dont la diminution du taux d'oxygène dissous par le processus de leur dégradation.

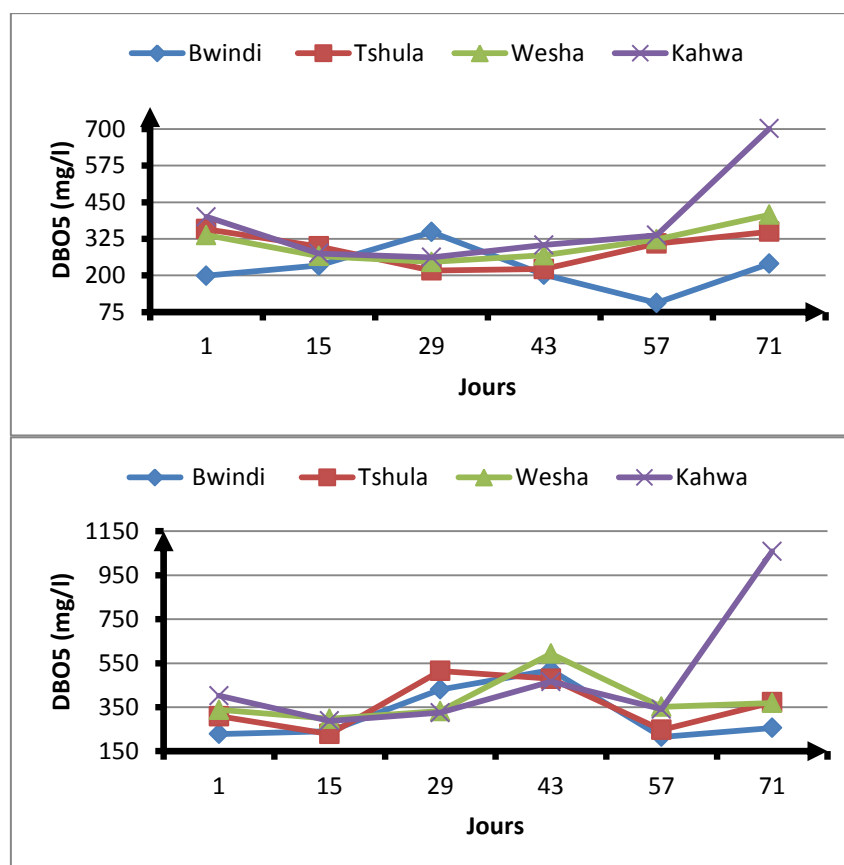


Figure 36. Variation saisonnière de la DBO₅ dans les rivières de Bukavu

Par ailleurs, les concentrations en MES (en mg/l) mesurées varient entre 198 et 512, 338 et 525, 370 et 501, et 462 et 569 respectivement aux rivières Bwindi, Tshula, Wesha, et Kahwa en saison sèche (Figure 37). Les valeurs de ces dernières en saison humide, semblent être similaires à celles obtenues en saison sèche; elles sont, suivant le même ordre, de 307 à 661, 291 à 557, 314 à 625, et 489 à 598 mg/l. Cette relative stabilité entre les deux saisons, serait tout simplement liée au fait qu'en saison sèche, l'augmentation relative des MES pourrait être attribuée à de fortes productions primaires de planctons ou à la remise en suspension des sédiments causée par d'intenses activités anthropiques dont font l'objet ces rivières. Mais en saison humide, la dilution pourrait expliquer ces concentrations même si ces dernières demeurent toujours élevées, probablement du fait des lessivage et ruissellement. Ainsi pouvons-nous considérer que les teneurs en MES des rivières de Bukavu restent élevées tout au long de l'année. Ce qui les situe à la catégorie des rivières chargées et dans le même ordre d'idée que les résultats donnés par Makhoukh *et al.* (2011), si on les compare à beaucoup de rivières citées dans la littérature (Kouam Kenmogne, 2013; Djuikom, 1997; Leseau, 2002; Lami, 2002) et dont les valeurs sont de loin en deçà des teneurs que nous avons obtenues.

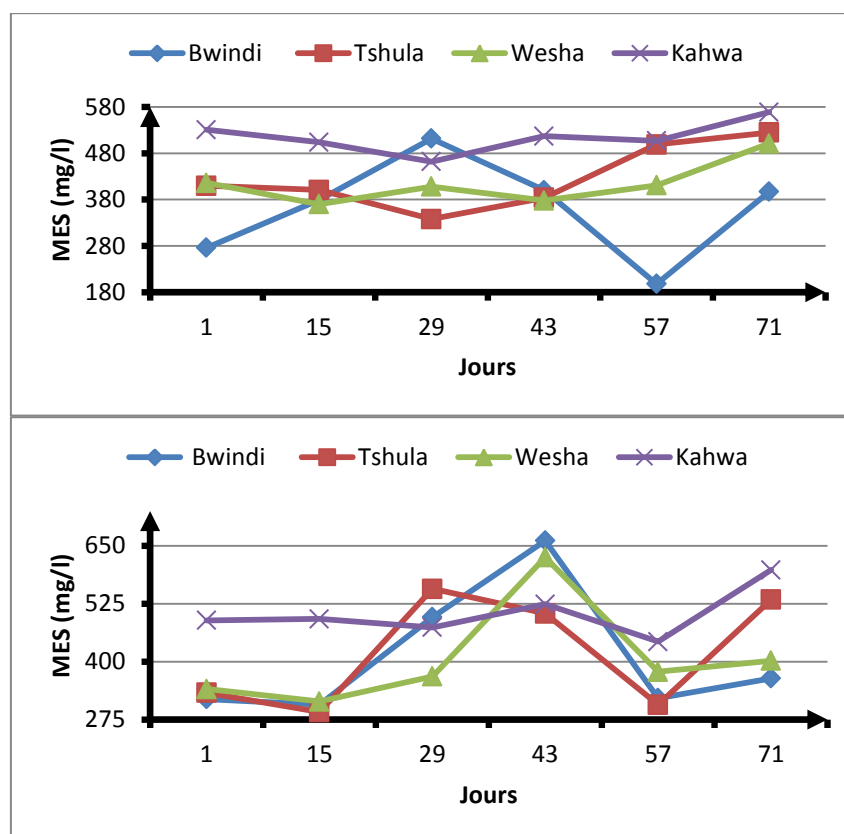


Figure 37. Variation saisonnière des MES dans les rivières de Bukavu

Les teneurs élevées en MES de ces rivières, devraient être considérées comme un signe de pollutions exportées dans le lac Kivu. Ainsi, à l'instar de l'appauvrissement du milieu aquatique récepteur en oxygène dissous, signalons qu'une telle hausse peut également entraîner un réchauffement de l'eau, comme c'est signalé par la littérature (Herbert et Légare, 2000; Makhoukh *et al.*, 2011).

Dans cette optique, la présence de MES ainsi que l'augmentation de la température en épilimnion sont susceptibles non seulement d'altérer la qualité de l'eau qu'est l'habitat pour les organismes autochtones, mais aussi de provoquer la rupture de l'équilibre qui caractérise les différentes strates du lac Kivu.

En effet, les profondeurs dudit lac ayant des pressions et températures plus élevées qu'en surface (Schmid *et al.*, 2005), les eaux de la surface étant donc plus lourdes, empêcheraient ou limiteraient les mouvements ou brassages de l'eau. Or, en cas des pollutions thermiques à la surface, une rupture d'équilibre entre les différentes strates pourrait survenir.

De la même manière, on pourrait craindre également la formation des floes et des boues, qui, en décantant, pourraient provoquer la rupture de l'équilibre prévalant dans le lac, et surtout dans ses profondeurs, où baignent d'importantes réserves en gaz (méthane et gaz carbonique), qui risqueraient de se mettre en mouvement et s'approcher de la surface en perdant la pression. Ceci pourrait déboucher à leur libération en l'air, et comme ils sont plus

lourds que l'air, ils pourraient se répandre par étalement et causer d'énormes pertes matérielles et en vies humaines. Rappelons que le lac Kivu, méromictique, contient plus de 60000 km³ de CH₄ et plus de 250000 km³ de CO₂, stocks de très loin supérieurs à ceux du lac Nyos au Cameroun, qui a laissé s'échapper ses gaz et provoquant la mort par asphyxie de 1746 personnes le 21 août 1986.

5.3.1.1.4 Des sels nutritifs dans les rivières de Bukavu

Les résultats en rapport avec les sels nutritifs (Figure 38) montrent globalement que les concentrations en azote total des eaux des rivières Bwindi, Tshula, Wesha, Kahwa varient respectivement entre 11 et 26, 15 et 31, 16 et 27, 18 et 33 en saison sèche, ainsi qu'entre 15 et 28, 21 et 33, 22 et 33, 24 et 32 mg/l. Nous pensons que le lessivage des terres agropastorales par lesquelles passent les rivières Bwindi, Tshula et Wesha, serait responsable des teneurs obtenues, tandis qu'à la rivière Kahwa, interviendraient en supplément des rejets organiques provenant des fortes activités anthropiques et de grandes communautés humaines installées dans leurs zones d'influence (drainage).

Par ailleurs, la prépondérance de la saison humide sur la saison sèche concernant les concentrations en azote total, serait simplement liée au lessivage par les eaux de ruissellement.

Quant au phosphore total, dans les rivières de Bukavu, les plages de variations vont de 0,8 à 2,1; 3,8 à 8,1; 2,8 à 6,7; et 5,9 à 9,1 mg/l respectivement à Bwindi, Tshula, Wesha et Kahwa en saison sèche, et de 1,9 à 2,9; 2 à 3,6; 2,6 à 4; et 1,8 à 6,8 mg/l en saison humide. Nous pouvons dire une fois encore que les activités anthropiques sont responsables de cette distribution, notamment par la remise en suspension du phosphore séquestré dans les sédiments par des activités anthropiques, entre autres l'exploitation des sables et des graviers dans les lits des rivières.

Pour rappel, les densités vont en diminuant lorsqu'on va du centre de la ville (où l'on trouve la Kahwa) vers la périphérie (où il y a Bwindi) en traversant successivement la Wesha et la Tshula, deux rivières qui se partagent bien des propriétés communes. Mentionnons également qu'à part quelques pics en saison sèche surtout, les concentrations obtenues sont inférieures à la norme européenne de toxicité fixée à 6,1 mg/l et citée par Issola *et al.* (2008) de façon générale. En dépit du fait que des concentrations élevées en phosphates ne sont pas toxiques, une attention devrait y être accordée car elles interviennent dans les charges et dans la prolifération des algues.

Ainsi, les valeurs moyennes de l'azote total sont centrées sur 17,3 - 23,7 mg/l et 20,9 - 27,2 mg/l respectivement en saisons sèche et humide, tandis que les moyennes affichées pour le phosphore total sont centrées sur 3,7-7,8 mg/l et 2,4-4,3 mg/l respectivement en saisons sèche et humide. Les différentes variations montrent le caractère éparpillé de nos résultats, cause imputable aux effets aléatoires anthropiques qui se passent en amont de la station.

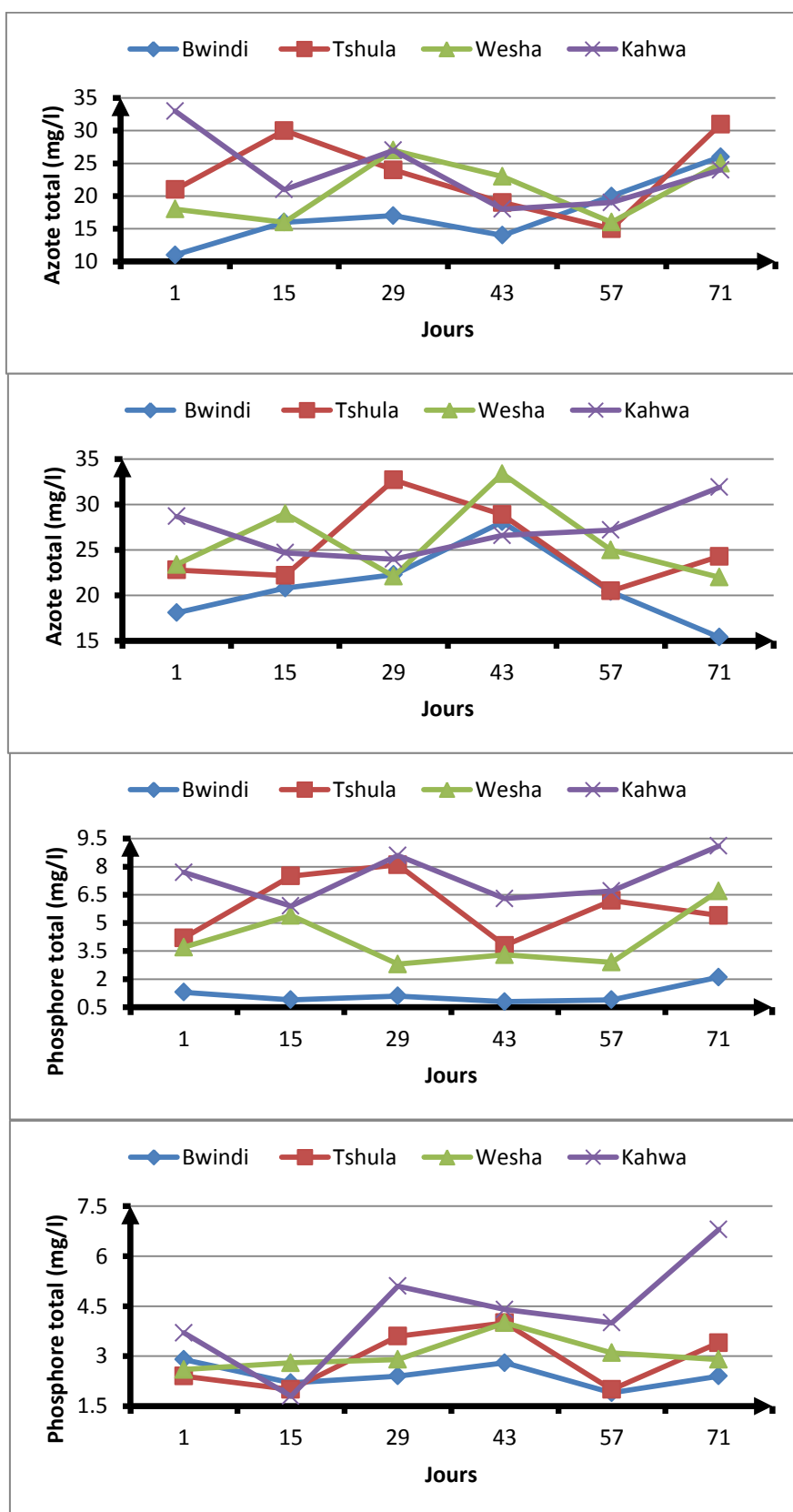


Figure 38. Variation saisonnière de la teneur des sels nutritifs dans les rivières de Bukavu

5.3.1.1.5 Les flux de pollutions affluentes au lac Kivu

Dans le domaine du génie sanitaire, les flux drainés renseignent mieux que les concentrations, pour déterminer le degré des pollutions dont il s'agit et en perspective d'arrêter un certain nombre de mesures qui conviendraient à l'abattement desdites pollutions en guise de traitement à apporter. Nos résultats font état de grosses charges de pollutions évacuées par les rivières de Bukavu, et qui varient selon les types de paramètres considérés.

De ces résultats (Tableau 36), la rivière Kahwa s'illustre comme la plus importante en termes des flux de pollutions évacuées, suivie par Wesha et Tshula, puis Bwindi. Cette répartition semble être liée au profil de la densification des communautés humaines qui caractérisent les zones d'influence (drainage) de chacune de ces rivières comme signalé. La légère domination de la Tshula sur Wesha pourrait s'expliquer par le fait qu'elle traverse en son cours inférieur, une zone nouvellement installée et dont les habitations occupent tous ses bords jusqu'à l'embouchure, comprenant un arsenal de structures de production et transformation (divers ateliers, marché, abattoir, etc.).

A l'opposé, provenant d'une zone fort habitée et avant de se déverser dans le lac, la rivière Wesha passe à travers un terrain quasi-non habité (diminution du taux de bâtis) et à caractère marécageux (au niveau duquel s'est située notre station de prélèvement). Le passage de Wesha dans ce terrain et la nature de celui-ci interviendraient dans la rétention d'une certaine quantité de pollution.

Par ailleurs, de manière générale, les charges relevées en saison sèche, se trouvent être doublées en saison humide au niveau des rivières de Bukavu. Ceci atteste rôle joué par le ruissellement dans les systèmes d'assainissement en vogue dans cette ville. Comparés aux résultats en tonnes par an (T/an), trouvés par Muvundja *et al.* (2009), à savoir 5,2 (PT) et 2500 (MES) sur Kahwa; 0,3 (PT) et 3800 (MES) sur Bwindi, nos résultats en moyenne de tonnes/an (PT: 66 et MES: 4015-Kahwa, ainsi que PT: 9,5 et MES: 1898-Bwindi) sont généralement plus élevés que les leurs, sauf pour MES à Bwindi où leur résultat dépasse le nôtre. Ceci nous amène à affirmer que cette différence serait encore incriminée aux types d'échantillonnages effectués. Nos échantillons, moyens pondérés aux débits horaires effectués, présentent des caractéristiques intimement liées aux différents phénomènes qui se passent à longueur des journées dans les écosystèmes.

En termes d'équivalent-habitant, partant des flux obtenus dans les rivières de Bukavu et à la lumière des charges déduites par Nsavyimana (2014) au Burundi qui est un pays du sud et voisin à la RDC, les pollutions révélées dans notre travail se diversifient en fonction des rivières et des saisons. La variation des *extrema* de ces charges en équivalent-habitants (EH) par jour et par rivière comprend le couple phosphore total - MES et, à une moindre mesure, le couple phosphore total - DCO. Lesdites variations vont de 2660 (phosphore total) à 56305 (MES) pour Bwindi, de 13217 (phosphore total) à 68695 (MES) pour Tshula, de 9566

(phosphore total) à 66703 (MES) pour Weshia, et de 26455 à 130515 (MES) pour Kahwa en saison sèche. Les charges moyennes des autres paramètres sont comprises entre ces gammes présentées. Cependant, la saison humide constitue la période où de grosses pollutions sont charriées par les rivières de Bukavu.

Pour les pollutions majeures (DCO, DBO₅ et MES), les charges sont multipliées par 2 ou 2,5 lorsqu'on passe de la saison sèche à la saison humide. Quant aux sels nutritifs, il s'est avéré que la variation de l'azote total suit la tendance des pollutions majeures selon les saisons. Cependant, les charges de l'azote n'ont pas montré de grosses différences entre les 2 saisons même si la saison humide l'emporte sur la saison sèche. Cela montre que les pluies jouent un rôle de premier plan dans la manière managériale d'assainissement se réalisant dans la ville de Bukavu. Pareille pratique indique les risques sanitaires qu'encourent les populations de la ville, et contribuerait énormément en même temps à l'altération du lac Kivu, induisant divers risques susceptibles de menacer fatalement la vie des organismes aquatiques.

Tableau 36. Flux de pollutions dans les rivières de Bukavu. Ils sont obtenus sur base des charges d'EH trouvées dans la ville de Bujumbura (DCO=117,08 EH.j⁻¹; DBO₅=54,53 EH.j⁻¹; MES=62,17 EH.j⁻¹) et des charges d'application en Belgique (NT=10,6 EH.j⁻¹; PT=4,41 EH.j⁻¹) par Nsavyimana (2014)

		Saison sèche (SS)		Saison humide (SH)		Charges (SS+SH)	
		kg.j ⁻¹	EH.j ⁻¹	kg.j ⁻¹	EH.j ⁻¹	kg.j ⁻¹	EH.j ⁻¹
Bwindi	DCO	4886 ± 1260	41735 ± 10763	13228 ± 5668	112984 ± 48412	18114	154719
	DBO ₅	2165 ± 819	39876 ± 15082	5303 ± 2644	97655 ± 48692	7468	137531
	MES	3500 ± 1123	56305 ± 18063	6908 ± 3029	111122 ± 48720	10408	167427
	NT	169 ± 61	15945 ± 5746	346 ± 100	32636 ± 9461	515	48581
	PT	12 ± 6	2660 ± 1322	40 ± 8	9076 ± 1799	52	11736
Tshula	DCO	6582 ± 1691	56219 ± 14447	16326 ± 5745	139445 ± 49068	22908	195664
	DBO ₅	2958 ± 843	54467 ± 15527	7023 ± 2773	129346 ± 51077	9981	183813
	MES	4271 ± 893	68695 ± 14360	8229 ± 2883	132359 ± 46380	12500	201054
	NT	237 ± 79	22331 ± 7469	490 ± 122	46233 ± 11512	727	68564
	PT	58 ± 17	13217 ± 3753	57 ± 20	12853 ± 4604	115	26070
Weshia	DCO	5628 ± 1083	48067 ± 11402	15468 ± 4809	132116 ± 41071	21096	180183
	DBO ₅	3097 ± 827	57037 ± 15237	7073 ± 2582	130260 ± 47553	10170	187297
	MES	4147 ± 780	66703 ± 12541	7532 ± 2721	121155 ± 43769	11679	187858
	NT	208 ± 54	19650 ± 5117	474 ± 104	44713 ± 9831	682	64363
	PT	42 ± 20	9566 ± 4486	56 ± 13	12773 ± 3033	98	22339
Kahwa	DCO	14825 ± 4232	126624 ± 36150	29796 ± 18456	254494 ± 157632	44621	381118
	DBO ₅	5974 ± 2653	110024 ± 48864	14270 ± 9243	262794 ± 170215	20244	372818
	MES	8114 ± 1262	130515 ± 20304	14818 ± 2330	238348 ± 37473	22932	368863
	NT	381 ± 135	35902 ± 12759	798 ± 109	75308 ± 10254	1179	111210
	PT	117 ± 27	26455 ± 6170	129 ± 58	29299 ± 13075	246	55754

Dans l'ensemble des charges de rivières pour les deux saisons, la lecture (Tableau 36) montre que les valeurs les plus élevées sont notées à la rivière Kahwa, alors que les moins

élevées sont trouvées à la rivière Bwindi; la Tshula et la Wesha drainent des pollutions, dont les valeurs sont comprises entre celles de la Kahwa (gros flux) et de la Bwindi (petits flux), présentent assez souvent des valeurs assez proches, attestant le même fonctionnement car étant toutes les deux non seulement proches l'une de l'autre, mais surtout elles traversent visiblement les quartiers ayant les mêmes conditions socio-économiques.

5.3.1.2 Volet bactériologique

5.3.1.2.1 Résultats des analyses bactériologiques des eaux de rivières suivant les saisons

Les résultats des analyses bactériologiques des eaux de 4 rivières sélectionnées, sont consignés dans le tableau 37. Signalons qu'ils portent sur les concentrations des bactéries, comme les résultats sur la parasitologie, mais un tableau synthétisant les flux des bactéries et des parasites sanctionnera la fin des résultats microbiologiques afin de déceler les correspondances entre les flux des pollutions organiques drainées dans le lac par chacune de rivières, et ce avant d'entamer les résultats des analyses effectuées sur les eaux résiduelles des exutoires.

Globalement, les CF, SF et *E. coli* ont présenté des concentrations moyennes de l'ordre de 4 unités logarithmiques (saison sèche) contre 6 unités (saison humide) à Bwindi, alors que ces moyennes ont tourné autour de 5 unités logarithmiques en saison sèche et 6 unités en saison humide pour Wesha, Kahwa et Tshula. Cependant, les SF ont présenté en moyenne 5 unités logarithmiques pour Tshula. Les concentrations maximales (UFC/100 ml) obtenues étaient de: 2,05. 10⁶ CF, 1,85. 10⁶ EC, 3,15. 10⁶ SF et 250 CSR (Bwindi), 3,15. 10⁶ CF, 2,1. 10⁶ EC, 1,8. 10⁶ SF et 370 CSR (Tshula), 2,7. 10⁶ CF, 2,45. 10⁶ EC, 1,9. 10⁶ SF et 330 CSR (Wesha); 5,6. 10⁶ CF, 4,15. 10⁶ EC, 4,05. 10⁵ SF, et 1900 CSR (Kahwa).

Par ailleurs, les CSR ont été les plus faiblement représentés dans les eaux de ces 4 rivières tant en saison sèche qu'en saison humide. Cependant, les pics de CSR aux à Tshula et Wesha, ont plutôt été obtenus en saison sèche. L'explication plausible de cette faiblesse tiendrait d'une part, à la lenteur qui caractérise le métabolisme anaérobie par rapport aux processus aérobie, et d'autre part à la sensibilité que comporte cette culture, demandant un environnement exempt d'oxygène, donc un dispositif matériel approprié.

En plus, généralement, l'observation des résultats montre un profil intimement lié au comportement de la pluviométrie. Plus, cette dernière augmente, plus ces bactéries témoins d'indication fécale augmentent de concentrations dans les rivières de Bukavu. A ce sujet, la littérature signale effectivement le rôle des précipitations dans la dynamique de contamination fécale des rivières par les eaux de ruissellement, réputées comme étant riches en coliformes et MES, ainsi que par la remise en suspension de sédiments contaminés. Dans cette littérature, nous pouvons citer les travaux de Wyer *et al.* (1997) et de Baudart *et al.* (2000) qui confirment que des pics de contamination fécale en rivière, systématiquement associés à ceux de concentrations en MES, sont généralement incriminés aux fortes pluies et orages.

En outre, au seuil de 0,05 et suivant les teneurs en CF, la différence est significative entre Kahwa et les autres rivières (Bwindi, Tshula, Wesha) au vu des valeurs de p ($p < 0,0001$) ($df=76$; $F=14,66$) obtenues entre Kahwa et chacune d'elles, ainsi qu'entre Tshula et Bwindi ($p=0,0447$). Par contre, la différence est légèrement significative entre Bwindi et Wesha ($p=0,0671$) et non significative entre Tshula et Wesha ($p = 0,8547$). Ce profil (relatif à la distribution des CF) a été constaté comme tel et similaire à celui de la distribution des teneurs en *E. coli*, où la différence s'est avérée significative entre Kahwa et chacune de 3 autres rivières (Bwindi, Tshula et Wesha) respectivement avec les valeurs de $p < 0,0001$; $p < 0,0001$ et $p=0,0005$; ainsi qu'entre Bwindi et Wesha ($p=0,0198$).

Par contre, elle a été non significative entre Bwindi et Tshula ($p=0,1120$). Cette similarité caractérisant les profils des CF et *E. coli*, résulterait du fait que *E. coli*, faisant également partie des CF, serait la plus importante quantitativement de toutes les espèces constituant un groupe donné des CF: les rapports CF/EC montrent que les souches d'*E. coli* représentent 75% (Bwindi), 70% (Tshula), 84% (Wesha) et 74% (Kahwa) des CF. Ce constat est en accord avec la littérature, comme c'est soutenu par Akrim (1992) et Ouadghiri (1993) qui stipulent que 96% des colonies présumées des CF sur milieu de TTC et Tergitol appartiennent à *E. coli*.

Tableau 37. Résultats des analyses bactériologiques des eaux de rivières de Bukavu
[UFC=Unités formant colonies; CF=Coliformes fécaux; SF=Streptocoques fécaux;
CSR=Clostridium sulfito-réducteur]

Rivières	Paramètres (UFC/100 ml)	Saison sèche Moyenne (Min - Max)	Saison humide Moyenne (Min-Max)	OMS (2012)
Bwindi	CF	$2,8 \times 10^4$ ($2,1 \times 10^4$ - $3,8 \times 10^4$)	$1,4 \times 10^6$ (3×10^4 - $2,1 \times 10^6$)	1000
	SF	$4,1 \times 10^4$ ($1,9 \times 10^4$ - $5,9 \times 10^4$)	$2,1 \times 10^6$ ($5,7 \times 10^4$ - $3,2 \times 10^6$)	-
	<i>E. coli</i>	$1,5 \times 10^4$ ($9,5 \times 10^3$ - $1,5 \times 10^4$)	$1,2 \times 10^6$ ($2,2 \times 10^4$ - $1,9 \times 10^6$)	-
	CSR	3 (0 - 2×10^1)	$2,2 \times 10^1$ (0 - $2,5 \times 10^2$)	-
Tshula	CF	$3,7 \times 10^5$ ($5,9 \times 10^4$ - $5,7 \times 10^5$)	$2,2 \times 10^6$ ($5,5 \times 10^4$ - $3,2 \times 10^6$)	-
	SF	$1,6 \times 10^5$ ($2,1 \times 10^4$ - $4,2 \times 10^5$)	$2,7 \times 10^5$ ($3,4 \times 10^3$ - $1,8 \times 10^6$)	-
	<i>E. coli</i>	$2,6 \times 10^5$ ($4,2 \times 10^4$ - 4×10^5)	$1,5 \times 10^6$ ($4,8 \times 10^4$ - $2,1 \times 10^6$)	-
	CSR	7×10^1 (0 - $3,7 \times 10^2$)	5×10^1 (0 - $3,5 \times 10^2$)	-
Wesha	CF	$5,3 \times 10^5$ ($4,3 \times 10^5$ - $5,8 \times 10^5$)	2×10^6 ($1,2 \times 10^6$ - $2,7 \times 10^6$)	-
	SF	$1,9 \times 10^5$ ($3,3 \times 10^4$ - 6×10^5)	$1,2 \times 10^6$ ($1,8 \times 10^5$ - $1,9 \times 10^6$)	-
	<i>E. coli</i>	$4,1 \times 10^5$ ($3,2 \times 10^5$ - 5×10^5)	$1,7 \times 10^6$ (1×10^6 - $2,5 \times 10^6$)	-
	CSR	$5,5 \times 10^1$ (0 - $3,3 \times 10^2$)	$2,3 \times 10^1$ (0 - $2,2 \times 10^2$)	-
Kahwa	CF	$1,6 \times 10^6$ ($4,9 \times 10^5$ - $2,4 \times 10^6$)	$3,6 \times 10^6$ ($2,1 \times 10^6$ - $5,6 \times 10^6$)	-
	SF	$1,9 \times 10^5$ (2×10^4 - $3,6 \times 10^5$)	$3,4 \times 10^5$ ($2,2 \times 10^5$ - $4,1 \times 10^5$)	-
	<i>E. coli</i>	$1,2 \times 10^6$ ($2,5 \times 10^5$ - $2,1 \times 10^6$)	$2,7 \times 10^6$ ($1,7 \times 10^6$ - $4,2 \times 10^6$)	-
	CSR	40 (0 - $2,4 \times 10^2$)	$2,4 \times 10^2$ (0 - $1,9 \times 10^3$)	-

En plus, vu que les CF témoignent d'une pollution récente, et que la répartition dans les différentes rivières des teneurs de ces germes affiche des différences significatives, cela confirme le lien entre les pollutions dont font l'objet ces rivières et l'importance des densités humaines relatives aux bassins versants respectifs.

Par rapport aux teneurs en SF, la différence est significative entre Bwindi et Kahwa ($p < 0,0001$) ($df=3$; $F=12,19$), Bwindi et Tshula ($p < 0,0001$), Bwindi et Wesha ($p=0,0159$), Wesha et Tshula ($p=0,0067$), Wesha et Kahwa ($p=0,0128$), et non significative entre Kahwa et Tshula ($p=0,8126$), deux rivières qui possèdent en commun la particularité d'occupation des bords jusqu'à leurs embouchures respectives. L'aspect significatif des différences des moyennes entre ces rivières voudrait simplement traduire l'ancienneté des pollutions fécales caractérisant chacune d'elles.

Ainsi pouvons-nous affirmer que le contact permanent des eaux desdites rivières avec les sources potentielles de pollution et dans le contexte d'absence du management sanitaire digne de nom, montre le caractère vulnérable de ces écosystèmes aquatiques soumis aux activités anthropiques. En outre, en comparant nos résultats avec ceux fournis par la littérature (Tableau 32), il se dégage que les valeurs que nous avons trouvées sont supérieures à celles Kouam Kenmogne (2013) et très proches de celles de Lami (2002). Cela soutient davantage l'affirmation selon laquelle nos rivières font l'objet de grosses pollutions fécales.

5.3.1.2.2 Résultats des types de pollutions bactériologiques dans les rivières en fonction des classes des rapports CF/SF

En dépit du fait que l'unanimité sur l'utilisation du rapport CF/SF (Borrego et Romero, 1982) n'est plus d'actualité et de surcroît, non recommandable pour distinguer les sources des pollutions bactériologiques car pouvant varier en fonction de la mortalité de chaque microorganisme dans la rivière, son usage demeure tout de même conseillé dans le contexte où on ne dispose actuellement d'aucun autre indicateur qui soit à même d'illustrer clairement ce sujet. Ainsi, les résultats obtenus dans notre étude (Tableau 38), font état de la diversité d'origines de pollutions caractérisant les rivières de Bukavu.

Tableau 38. Origines des pollutions des rivières de Bukavu suivant le ratio CF/SF

Rivières	Classes de CF/SF				Plage de variation
	< 0,7	0,7 - 2	2 - 4	> 4	
	%				
Bwindi	40	50	10	0	<0,7 - 8,1
Tshula	5	20	5	70	<0,7 - 16,8
Wesha	0	55	10	35	0,9 - 17,6
Kahwa	0	0	0	100	6,5 - 24,3

Sur base des classifications de Geldreich (1976) et Borrego et Romero (1982)

Pour Bwindi, les pollutions mises en évidence seraient à 40% causées par les animaux domestiques, 50% d'origine mixte à prédominance animale, 10% d'origine mixte à prédominance humaine. En parallèle, les résultats révèlent dans la rivière Tshula, 5% des pollutions ont une origine animale, 20% sont d'origine mixte à dominante animale, 5% d'origine mixte à dominante humaine, et 70% qui sont des pollutions humaines. Par ailleurs, la rivière Wesha comprend à 55% des pollutions qui sont mixtes à dominante animale, à 10% mixtes à dominante humaine et à 35% des pollutions d'origine humaine. Enfin, les pollutions mises en exergue à Kahwa sont dues à 100% à une origine humaine. Cette distribution tiendrait à la répartition géographique et socio-économique des habitants peuplant les zones d'influence de chacune d'elles.

En effet, les activités agro-pastorales réalisées aux abords de la Bwindi surtout et à une certaine mesure, dans les vallées du quartier Kasha en amont de Tshula et Wesha, seraient responsables de la part des pollutions d'origine animale diagnostiquées dans les eaux de ces rivières. La part importante (40%) de cette frange de pollution (due aux animaux) à Bwindi, serait influencée également par la proximité du bois (forêt) qui est propriété de la mission de l'église protestante de Bwindi, et qui couvre les flancs des collines et vallées bordant la rive droite de la rivière Bwindi au niveau de son cours inférieur jusqu'à la route nationale RN4. Vu l'état général de la destruction du couvert végétal et de la forêt aux alentours de Bukavu, ce bois constitue un lieu de refuge pour les oiseaux en particulier, dont les excréments libéreraient trop d'espèces de streptocoques fécaux, influençant le ratio CF/SF.

Cependant, des différentes classes de pollutions déterminées (Tableau 38), les plus importantes sont celles d'origine humaine, suivies des pollutions mixtes à dominante animale, puis celles à dominante humaine et les pollutions d'origine purement animale viennent en dernière position. Les pratiques courantes d'élevage extensif, associées au manque des services efficaces d'assainissement dans la ville, expliqueraient ces pollutions et exposeraient les habitants de cette ville à divers dangers sanitaires susceptibles d'être causés par la dissémination des germes pathogènes et même des pathovars de certaines espèces traditionnellement non pathogènes comme *E. coli*.

En outre, au regard des plages de variation de ce ratio, la densité humaine s'illustre comme un facteur important dans la distribution des pollutions bactériologiques dans cette ville. A côté de cet aspect, les disparités des coliformes (bactéries) dans les rivières, peuvent également être imputées à l'action bactéricide des protozoaires. Dans cette optique, le broutage efficace des coliformes par les protozoaires ferait que l'impact des rejets sur les abondances en coliformes des rivières soit limité dans l'espace. Un autre processus de ces disparités est la sédimentation des bactéries avec les MES sur lesquelles elles sont adsorbées. Grâce aux apports diffus, la proportion des bactéries adsorbées aux particules est maximale pendant les événements pluvieux car le ruissellement de surface riche en MES alimente les rivières et les ouvrages de drainage.

5.3.1.3 Aspects parasitologiques des rivières

Le pourcentage des échantillons qui se sont révélés positifs concernant la mise en évidence des parasites, paraît variable suivant les rivières: 65% pour Bwindi, 75% tant pour Tshula que Wesha, et 60% pour Kahwa (Tableau 39). Les concentrations en parasites sont beaucoup plus importantes dans les eaux de la rivière Kahwa que dans les 3 autres. Aussi, la saison de pluie a affiché de plus fortes concentrations que la saison sèche: 7,2 contre 6,5 œufs/l (Bwindi), 8,8 contre 8,1 œufs/l (Tshula) et 10,9 contre 9,2 œufs/l (Wesha), alors que la Kahwa a plutôt présenté 19,3 contre 12,6 œufs/l. Ceci s'expliquerait par la densité des ménages qui y sont connectés, directement ou indirectement par le truchement de la majorité des émissaires domestiques de la ville. C'est aussi ce facteur qui expliquerait la valeur relativement faible des concentrations en parasites dans les eaux de Bwindi. En outre, la saison humide s'est illustrée comme étant la plus prolifique en dénombrement parasitaire.

Tableau 39. Fréquences synthétiques des dénombrements parasitaires dans les rivières de Bukavu

Rivières	Cas positifs (%)	Effectifs totaux des œufs dénombrés	Concentration moyenne des œufs/litre	
			Saison sèche	Saison humide
Bwindi	65	140	6,5	7,2
Tshula	75	171,6	8,1	8,8
Wesha	75	207,7	9,2	10,9
Kahwa	60	292,9	19,3	12,6

En effet, il a été dénombré au total, 140 œufs (kystes) à Bwindi, 292,9 œufs (kystes) à Kahwa, 171,6 œufs (kystes) à Tshula et 207,7 œufs (kystes) à Wesha suivant des concentrations relativement diverses par espèces. Le plus grand stock des parasites s'avère être à Kahwa, ce qui montre une fois de plus que la pollution serait en relation directe avec les activités anthropiques et la densité humaine que regorge chacun de bassins versants. La saison humide s'est présentée comme la plus prolifique en général, à cause de l'intensité des rejets d'effluents par les ménages.

Cependant, la proximité et la densité des habitations, ainsi que les conditions climatiques particulièrement favorables au développement des parasites, associées aux faibles débits en saison sèche, pourraient expliquer les concentrations élevées mises en évidence dans la rivière Kahwa. Ainsi, les résultats (Tableau 40) montrent l'importance de la saison humide dans la prolifération des parasites (Nématodes et Cestodes), hormis les Protozoaires qui ont été principalement dénombrés en saison sèche. Des études de l'OMS (2011) indiquent que l'abondance en œufs de parasites en période pluvieuse est due aux conditions de

température, d'humidité, d'oxygène et de rayonnement solaire favorables à la maturation des parasites.

La caractérisation qualitative a permis de dénombrer des Protozoaires et 3 groupes d'Helminthes représentés par les classes de Nématodes, Cestodes et Trématodes dans 3 rivières (Kahwa, Wesha et Tshula). Relativement aux différents taxons dénombrés, les Nématodes sont les plus importants dans 3 rivières (Kahwa, Tshula et Wesha) et représentent au moins 57% des parasites présents, pendant qu'à Bwindi dominent les Cestodes (77%).

Tableau 40. Concentrations pondérales (%) des eaux des rivières de Bukavu en groupes des parasites suivant les saisons

parasites suivant les saisons

Taxons (en %)	Saison sèche				Saison humide			
	Rivières							
	Bwindi	Tshula	Wesha	Kahwa	Bwindi	Tshula	Wesha	Kahwa
Protozoaires	100	100	26,5	100	0	0	73,5	0
Nématodes	34,4	22,9	31,7	31,4	65,6	77,1	68,3	68,6
Cestodes	20,9	0	27,5	64,8	79,1	100	72,5	35,2
Trématodes	-	0	38	0	-	100	62	100

Cette répartition duale de principales classes de parasites traduisant la domination des Nématodes aux 3 rivières précitées et celle des Cestodes majoritaires à Bwindi, est dictée par la nature des eaux que reçoivent ces rivières. En effet, les 3 rivières (Kahwa, Wesha et Tshula) reçoivent intensément les eaux usées domestiques chargées des parasites infestant la communauté humaine, hormis les travaux agro-pastoraux effectués en amont de Wesha et Tshula. Par contre, le long de son parcours, Bwindi comprend des berges qui abritent des pâturages servant à l'élevage extensif de petit et gros bétails, faisant qu'elle soit plutôt assujettie intensément aux eaux agropastorales fortement chargées en Cestodes dont notamment *T. saginata* qui vit dans le tractus digestif des bovins.

Par ailleurs, la prédominance des Nématodes sur les autres groupes de parasites est liée au fait que leurs œufs sont plus résistants vis-à-vis des conditions physicochimiques instables et parfois hostiles de l'environnement que ceux des autres groupes, ainsi qu'à leur mode de transmission (cycle direct). Cette affirmation est soutenue par Alouini *et al.* (1995), Bouhoum (1996), Schwartzbrod et Banas (2003) et Sylla et Belghyti (2008). Les habitudes culinaires dans la région de Bukavu consistant en la consommation de viande bien cuite (presque pas de crudités), expliqueraient les faibles teneurs en Cestodes (Kahwa, Wesha et Tshula), d'autant plus qu'elles ne favorisent pas la transmission des cestodoses.

Par ailleurs, du fait que les concentrations moyennes en parasites dans les rivières augmentent selon que l'on va des rivières du centre de la ville vers celles de la périphérie sur l'axe RN4 (Route nationale n° 4), on peut affirmer que la densité des populations serait

responsable de cette répartition (Lina *et al.*, 2015). En effet, la Kahwa traverse les quartiers les plus densément peuplés et, par conséquent, draine un volume beaucoup plus important d'eaux résiduaires que les autres rivières. Ceci est corroboré par les travaux de Bouhoum (1996) et de Sylla et Belghyti (2008) qui stipulent que la concentration des parasites dans les eaux usées urbaines est fortement liée au facteur démographique.

En général, comme signalé, le dénombrement a permis d'identifier 4 groupes de parasites (Protozoaires, Nématodes, Cestodes et Trématodes) dans ces rivières, sauf à Bwindi où la présence des trématodes n'a pas été signalée. Ainsi, il a été dénombré les espèces dont le nombre a varié de 4 (Bwindi) à 11 (Wesha), en passant par 8 (Kahwa) et 9 (Tshula). En fonction de leur occurrence (Tableau 41), *Ascaris sp.*, *H. diminuta* et *T. saginata* sont des espèces accessoires (F entre 25 et 50%) à Bwindi, tandis que *Entamoeba coli* s'y comporte comme une espèce accidentelle (F < 25%).

Tableau 41. Concentrations moyennes en parasites des rivières de Bukavu de juin 2013 à mars 2014. La concentration est calculée en fonction du nombre total des parasites dans les deux saisons

		Bwindi	Kahwa	Tshula	Wesha
Total eggs		139,9	292,9	171,6	207,7
	Espèces	œufs/litre			
Protozoaires	<i>Entamoeba coli</i>	0,42	0,55	0,38	0,54
	<i>E. histolytica</i>	-	-	0,5	0,42
	<i>G. lamblia</i>	-	0,42	0,34	0,63
	Pourcentage(%)	5,9	6,6	14,1	15,2
Nématodes	<i>Ascaris sp.</i>	1,21	7,81	3,88	3,88
	<i>Ankylostoma sp.</i>	-	0,79	0,79	0,92
	<i>Strongyloides sp.</i>	-	1,92	0,63	0,71
	<i>T. trichiura</i>	-	-	-	0,41
	Pourcentage (%)	17,2	71,8	61,7	56,9
Cestodes	<i>H. diminuta</i>	2,13	1,54	-	0,59
	<i>H. nana</i>	-	-	0,54	0,38
	<i>T. saginata</i>	3,25	0,84	0,88	0,71
	Pourcentage (%)	76,9	16,2	16,5	16,0
Trématodes	<i>S. mansoni</i>	-	0,79	0,67	1,21
	Pourcentage (%)	-	5,4	7,8	11,7

Par ailleurs, *Ascaris sp.* se comporte en espèce constante (F >50%) dans les eaux de Kahwa, tandis que 7 autres espèces (*Entamoeba coli*, *Giardia lamblia* ou *G. lamblia*, *Ankylostoma sp.*, *Strongyloides sp.*, *H. diminuta*, *T. saginata* et *Schistosoma mansoni* ou *S. mansoni*) y sont accidentelles (F < 25%). Parallèlement, la Tshula comprend 9 espèces dont une (*Ascaris sp.*) est constante et 8 autres accidentelles (*Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica* ou *E. histolytica*, *G. lamblia*, *Ankylostoma sp.*, *Strongyloides sp.*, *Hymenolepis nana* ou *H. nana*, *T.*

saginata et *S. mansoni*). Enfin, la rivière Wesha, avérée comme la plus riche (11 taxons répertoriés), comprend *Ascaris sp.* comme espèce constante et 10 autres comme espèces accidentelles (*Entamoeba coli*, *G. lamblia*, *E. histolytica*, *Ankylostoma sp.*, *Strongyloides sp.*, *Trichuris trichiura* ou *T. trichiura*, *H. nana*, *H. diminuta*, *T. saginata* et *S. mansoni*)(Tableau 42).

Tableau 42. La richesse spécifique des parasites dans les rivières de Bukavu

Taxa	F (%)			
	Bwindi	Kahwa	Tshula	Wesha
<i>Entamoeba coli</i>	10	10	10	10
<i>Entamoeba histolytica</i>	0	0	10	10
<i>Giardia lamblia</i>	0	10	10	10
<i>Ascaris sp.</i>	30	60	70	60
<i>Ankylostoma sp.</i>	0	10	10	10
<i>Strongyloides sp.</i>	0	20	10	10
<i>Trichuris trichiura</i>	0	0	0	10
<i>Hymenolepis diminuta</i>	40	10	0	10
<i>Hymenolepis nana</i>	0	0	10	10
<i>Taenia saginata</i>	40	10	10	10
<i>Schistosoma mansoni</i>	0	10	10	20

De ces résultats, nous pouvons dire qu'*Ascaris sp.* est une espèce qui est en circulation chez les habitants de la ville de Bukavu, et qui continue à défier les efforts menés par l'Inspection Provinciale de la Santé/Sud-Kivu avec l'appui des structures onusiennes (UNICEF, OMS, PNUD, etc.), consistant en campagnes régulières et ciblées de la déparasitisation des enfants de moins de 5 ans et des femmes en gestation, qui constituent les tranches des gens les plus vulnérables aux parasitoses.

Les pics des concentrations mensuelles des œufs/l (58,3; 28,3; 17,5 et 20,8 respectivement pour Kahwa, Wesha, Tshula et Bwindi) ont été remarqués à l'approche de grandes fêtes, aux mois de Novembre, Décembre et Janvier (Noël et Nouvel An) et Mars (Pâques) (Tableau 43). En effet, les conditions socioéconomiques et météorologiques sont les plus opportunes pour les activités de vidange des fosses septiques durant ces périodes de l'année. Le besoin des préparations aux fêtes pousse les gens à accepter tout genre de travaux dont, principalement, la manutention dans le secteur immobilier et le vidange des fosses septiques qui coïncident avec la période de pluie qui favorise l'utilisation gratuite de l'eau et l'évacuation facile des gadoues et déchets divers.

Tableau 43. Liste et pourcentage d'occurrence des parasites dans les rivières de Bukavu

Le signe '+' ('-') se réfère à la présence (absence) des espèces données

River	Taxa	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Occurrence
Bwindi	<i>Entamoeba coli</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Ascaris sp.</i>	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	30
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	40
	<i>Taenia saginata</i>	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	40
	<i>Total</i>	2	1	1	1	2	2	1	1	1	0	
Kahwa	<i>Entamoeba coli</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Giardia lamblia</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Ascaris sp.</i>	+	+	+	-	+	-	+	+	-	-	60
	<i>Ancylostoma sp.</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Strongyloides sp.</i>	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	20
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Taenia saginata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	10
	<i>Schistosoma mansoni</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Total</i>	3	2	3	1	1	0	1	2	0	1	
Tshula	<i>Entamoeba coli</i>	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Entamoeba histolytica</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Giardia lamblia</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Ascaris sp.</i>	-	+	+	+	+	+	-	+	+	-	70
	<i>Ankylostoma sp.</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	10
	<i>Strongyloides sp.</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	10
	<i>Hymenolepis nana</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Taenia saginata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	10
	<i>Schistosoma mansoni</i>	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	10

	<i>Total</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	
Wesha	<i>Entamoeba coli</i>	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	10
	<i>Entamoeba histolytica</i>	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Giardia lamblia</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	10
	<i>Ascaris sp.</i>	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	60
	<i>Ankylostoma sp.</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	10
	<i>Strongyloides sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	10
	<i>Trichuris trichiura</i>	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Hymenolepis diminuta</i>	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	10
	<i>Hymenolepis nana</i>	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	10
	<i>Taenia saginata</i>	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	10
	<i>Schistosoma mansoni</i>	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	20
	<i>Total</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	

Tableau 44. Similarité (Indice de Sorensen) entre les rivières sélectionnées

	Bwindi	Kahwa	Tshula	Wesha
Bwindi	1			
Kahwa	0,66	1		
Tshula	0,46	0,82	1	
Wesha	0,53	0,84	0,80	1

De par les valeurs obtenues de l'indice de Sorensen (Tableau 44) : 0,84 (Kahwa - Wesha), 0,82 (Kahwa - Tshula), 0,80 (Tshula - Wesha), 0,66 (Bwindi - Kahwa), 0,53 (Bwindi - Wesha), 0,46 (Bwindi - Tshula), on peut affirmer que les similarités sont très fortes entre 3 rivières (Kahwa, Wesha et Tshula), mais moins fortes entre chacune de ces 3 rivières et la rivière Bwindi. Les fortes similarités observées s'expliqueraient par le fait que ces 3 rivières reçoivent d'importants volumes d'eaux résiduelles domestiques, contrairement à Bwindi qui fait plutôt principalement l'objet des pollutions agropastorales liées à l'élevage des bétails. La faible diversité des parasites observée aux rivières Bwindi et Kahwa dans une moindre mesure, pourrait s'expliquer par les perturbations anthropiques auxquels elles sont assujetties, entre autres l'extraction des graviers pour construction et, particulièrement pour Kahwa, les rejets divers (imprimerie, laboratoire, savonnerie, marché, etc.) qui présenteraient une dose de toxicité. Par contre, la richesse ainsi que la pauvreté en quantité observées seraient corrélées à l'étendue (grande ou petite) des bassins versants respectifs et à la densité humaine rencontrée (grande ou petite).

En fonction des charges de pollutions (organiques et microbiologiques) révélées à travers le diagnostic réalisé sur les eaux de ces rivières, une synthèse de flux spécifiques (Tableau 45) a été dressée. On remarque que par unité de pollutions organiques, les flux en coliformes et parasites sont beaucoup plus importants pendant la saison sèche par rapport à la saison humide où les flots des eaux interviennent dans la dilution de ces charges. Cependant, mentionnons que la saison de pluie demeure *in fine* la période où de grosses pollutions arrivent dans le lac au vu de l'importance des flux journaliers tant en coliformes et parasites déversés qu'en DBO₅, par rapport à la saison sèche.

Tableau 45. Flux de pollutions microbiologiques par équivalent habitant en DBO₅ (EH DBO₅) en saisons sèche (SS) et de pluie (SH)

Désignation	Saisons	Rivières			
		Bwindi	Tshula	Wesha	Kahwa
Débit (l/s)	SS	112	116	115	182
	SH	190	223	212	340
Flux/pollution organique (kg/j)	SS	2165	2958	3097	5974
	SH	5303	7023	7073	14270
Teneurs en parasites (œufs/l)	SS	6,5	8,1	9,2	19,3
	SH	7,2	8,8	10,9	12,6
Flux en parasites (œufs/j)	SS	$6,2 \cdot 10^7$	$8,1 \cdot 10^7$	$9,1 \cdot 10^7$	$3 \cdot 10^8$
	SH	$1,1 \cdot 10^8$	$1,6 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^8$	$3,7 \cdot 10^8$
Flux en parasites (œufs/1g de DBO ₅)	SS	29,1	27,4	29,5	50,8
	SH	22,3	24,1	28,2	25,9
Flux en parasites (œufs/EH DBO ₅)	SS	1584	1497	1610	2770
	SH	1215	1316	1539	1414
	SS+SH	2800	2813	3149	4185
Teneurs en coliformes fécaux (UFC/100ml)	SS	$2,7 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^6$
	SH	$1,4 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$3,6 \cdot 10^6$
Flux en coliformes fécaux (UFC/j)	SS	$25 \cdot 10^{11}$	$37 \cdot 10^{12}$	$51 \cdot 10^{12}$	$24 \cdot 10^{13}$
	SH	$22 \cdot 10^{13}$	$39 \cdot 10^{13}$	$36 \cdot 10^{13}$	$10 \cdot 10^{14}$
Flux en coliformes fécaux (UFC/1g de DBO ₅)	SS	$1,1 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^7$	$1,6 \cdot 10^7$	$4 \cdot 10^7$
	SH	$4,1 \cdot 10^7$	$5,5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^7$	$7 \cdot 10^7$
Flux en coliformes fécaux (UFC/EH DBO ₅)	SS	$6,2 \cdot 10^7$	$6,8 \cdot 10^8$	$8,9 \cdot 10^8$	$2,1 \cdot 10^9$
	SH	$2,2 \cdot 10^9$	$3 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^9$
	SS+SH	$2,3 \cdot 10^9$	$3,7 \cdot 10^9$	$3,6 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^9$
Flux en <i>E. coli</i> (UFC/j)	SS	$13 \cdot 10^{11}$	$25 \cdot 10^{12}$	$40 \cdot 10^{12}$	$18 \cdot 10^{13}$
	SH	$16 \cdot 10^{13}$	$28 \cdot 10^{13}$	$30 \cdot 10^{13}$	$75 \cdot 10^{13}$
Flux en <i>E. coli</i> (UFC/1g de DBO ₅)	SS	$6 \cdot 10^5$	$84 \cdot 10^5$	$12 \cdot 10^6$	$30 \cdot 10^6$
	SH	$3 \cdot 10^7$	$39 \cdot 10^6$	$42 \cdot 10^6$	$52 \cdot 10^6$
Flux en <i>E. coli</i> (UFC/EH DBO ₅)	SS	$32 \cdot 10^6$	$46 \cdot 10^8$	$70 \cdot 10^7$	$16 \cdot 10^8$
	SH	$16 \cdot 10^8$	$21 \cdot 10^8$	$23 \cdot 10^8$	$28 \cdot 10^8$
	SS+SH	$17 \cdot 10^8$	$26 \cdot 10^8$	$30 \cdot 10^8$	$45 \cdot 10^8$
Flux en streptocoques fécaux (UFC/j)	SS	$38 \cdot 10^{11}$	$16 \cdot 10^{12}$	$18 \cdot 10^{12}$	$27 \cdot 10^{12}$
	SH	$32 \cdot 10^{13}$	$49 \cdot 10^{12}$	$19 \cdot 10^{13}$	$95 \cdot 10^{12}$
Flux en streptocoques fécaux (UFC/1g de DBO ₅)	SS	$17 \cdot 10^5$	$54 \cdot 10^5$	$58 \cdot 10^5$	$45 \cdot 10^5$
	SH	$60 \cdot 10^6$	$69 \cdot 10^5$	$26 \cdot 10^6$	$66 \cdot 10^5$
Flux en streptocoques fécaux (UFC/EH DBO ₅)	SS	$95 \cdot 10^6$	$29 \cdot 10^7$	$31 \cdot 10^7$	$24 \cdot 10^7$
	SH	$32 \cdot 10^8$	$38 \cdot 10^7$	$14 \cdot 10^8$	$36 \cdot 10^7$
	SS+SH	$33 \cdot 10^8$	$67 \cdot 10^7$	$17 \cdot 10^8$	$60 \cdot 10^7$

5.3.2 Résultats de la caractérisation des eaux des exutoires

Les analyses physicochimiques, bactériologiques et parasitologiques effectuées, nous ont aidé à caractériser les effluents domestiques drainés dans les exutoires de Bukavu.

5.3.2.1 Volet physicochimique

5.3.2.1.1 Le débit

En fonction des moyennes de mesures de débits effectuées de 7h à 18h lors de 6 campagnes de recherche dans chacune de 2 saisons de Bukavu, la figure présente le profil typique des débits dans les 5 exutoires domestiques retenus.

Globalement, les débits affichent le maximum les matins (entre 7h et 8h) qui sont les moments où les rejets sont importants, résultant de la préparation à la sortie (mobilité) de la plupart des populations. En effet, dans cette ville, il se répète à longueur des journées une phrase stipulant qu'"à Bukavu, il n'y a pas de champs". Pour dire qu'il faut se réveiller tôt, quitter la maison pour se livrer à la quête des moyens pour assurer l'entretien familial. Ainsi, les rejets des ERU sont très prononcés en ce moment, tant en saison sèche où ils sont vraiment manifestes, qu'en saison de pluie; puis, ils diminuent et affichent de légères augmentations autour de midi, diminuent encore un peu, pour remonter les soirs.

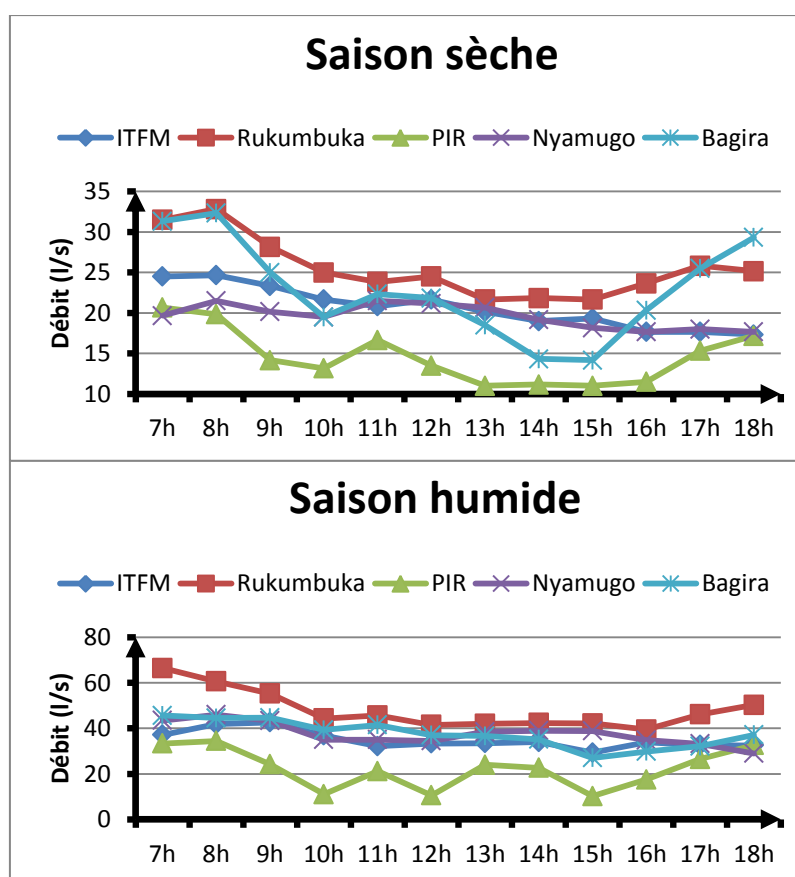


Figure 39. Courbes d'évolution journalière de débits dans les exutoires de Bukavu

Les courbes affichent les montées et descentes de manière plus claire en saison sèche qu'en saison humide où les variations sont moins prononcées à cause de l'influence des eaux de ruissellement. Aussi, étant donné que l'exutoire de PIR est le plus court de tous, on y

constante clairement les variations qui interviennent, à cause d'un nombre plus ou moins limité des ménages y connectés et en accord avec DEGREMONT (2005).

5.3.2.1.2 Température - pH - Conductivité

Au niveau des exutoires urbains de Bukavu (Tableau 46), les pH mesurés présentent des valeurs moyennes comprises dans l'intervalle de 7,7 (Nyamugo) à 8,8 (ITFM) en saison sèche, et de 8,1 (saison humide) à 9 (Rukumbuka, Bagira, Nyamugo) en saison humide. Ces moyennes débordent au-delà de la gamme (7,5 - 8,5) des effluents domestiques donnée par DEGREMONT (1989), pouvant ainsi conduire à un déséquilibre du fonctionnement biologique dans les écosystèmes récepteurs. Le caractère alcalin des effluents urbains pourrait être lié aux divers facteurs anthropiques, à l'action de la photosynthèse au niveau de ces ouvrages surtout en saison sèche, ou à l'influence basaltique des sols de Bukavu en contact avec les eaux de ruissellement (saison humide). La chute du pH obtenue à la campagne du jour 57 en saison humide dans l'exutoire d'ITFM, nous pensons qu'un rejet industriel ponctuel, en serait une des causes.

Tableau 46. Résultats des paramètres lus in situ dans les exutoires de Bukavu. Température (°C) et conductivité (μS/cm)

Saison	Paramètre	ITFM	Rukumbuka	PIR	Nyamugo	Bagira
Sèche	Température	25,1 ± 0,7	24,9 ± 0,4	24,4 ± 0,5	24,6 ± 0,5	24,3 ± 0,4
	pH (-)	8,8 ± 0,4	8,5 ± 0,3	8,4 ± 0,5	7,7 ± 0,5	8,2 ± 0,2
	Conductivité	1157 ± 130	907 ± 82	825 ± 90	926 ± 117	809 ± 93
Humide	Température	23,6 ± 0,5	22,6 ± 0,9	24,6 ± 0,5	22,6 ± 1	20,5 ± 0,9
	pH (-)	8,1 ± 0,8	9 ± 0,4	8,8 ± 0,3	9 ± 0,4	9 ± 0,3
	Conductivité	1101 ± 193	1319 ± 73	1559 ± 276	1577 ± 133	1396 ± 69

Avec des moyennes variant entre 809 (Bagira) à 1157 μS/cm (ITFM) en saison sèche, les conductivités relevées dans les exutoires de Bukavu sont élevées et dans la moyenne reconnue aux effluents urbains (900 - 1300 μS/cm) et mentionnée par la littérature (Rejsek, 2002). De manière générale, les travaux du boum immobilier que connaît la ville seraient les raisons majeures de la forte minéralisation des ERU. Quant au pic trouvé à ITFM, l'exploitation des sables et graviers qui s'y réalise, précisément dans sa section comprise entre la route de l'ISTM et celle de Bugabo, serait le facteur favorisant ces valeurs. Par contre, ces moyennes deviennent encore très élevées (1101 - 1577 μS/cm) en saison humide. Les activités anthropiques, dont les travaux de construction, ainsi que les phénomènes érosifs fréquents dans la ville, l'expliqueraient.

Les températures des exutoires concernés, varient généralement entre 24 et 25 °C en saison sèche, mais s'étalent entre 20 et 24 °C en saison humide. La littérature signale qu'en dessous de 30 °C, les rejets des eaux résiduaires ne présentent pas de danger dans les écosystèmes récepteurs.

5.3.2.1.3 Pollutions majeures et chimiques

En saison sèche, vu les moyennes affichées pour la DCO (262 - 589 mg/l) et DBO₅ (102 - 232 mg/l), les effluents urbains de Bukavu ont des charges en matières réductrices et organiques comprises dans les intervalles normaux des normes: entre 300 et 1000 mg/l pour la DCO et, entre 100 et 400 pour la DBO₅ (DEGREMONT, 1989; Metcalf et Eddy, 2003). Cependant, le déficit des systèmes sanitaires dans la ville, conduit au déversement de déchets solides et liquides stockés sur des sites de production dans les exutoires en temps de pluie.

En effet, en saison sèche, les ménages s'emploient au stockage des déchets divers et des boues au sein de leurs parcelles ou recourent au service des vidangeurs de fortune qui les exportent en dehors de la ville ou dans les coins perdus. Mais l'avènement des pluies constitue une opportunité pour les ménages qui n'ont plus la nécessité de recourir à d'autres moyens d'assainissement que celui de jeter les déchets divers et les boues dans les exutoires ou les rivières. Cette façon de procéder altère non seulement l'environnement mais expose également les populations à la contamination et aux risques divers qui entachent leur santé et leur cadre de vie.

Ainsi, cette pratique amène à l'augmentation des DCO et DBO₅, dont les moyennes respectives varient de 1016 à 2203 mg/l et de 425 à 1071 mg/l. En outre, le ratio DCO/DBO₅ peut encore renseigner sur la qualité des rejets de ces pratiques sanitaires. Ledit ratio présente des moyennes de 2,5 (2,0 - 2,9); 2,6 (2,3 - 2,8); 2,7 (2,1 - 3,0); 2,5 (2,0 - 3,0); 2,0 (1,6 - 2,4) en saison sèche, de 2,4 (2,0 - 2,8); 2,0 (1,7 - 2,4); 2,1 (1,9 - 2,4); 2,1 (1,7 - 2,4); 2,0 (1,7 - 2,4) en saison humide respectivement pour ITFM; Rukumbuka; PIR; Nyamugo; Bagira.

On peut en déduire qu'en saison sèche, les effluents urbains des exutoires domestiques de Bukavu, ont tendance à comporter moins de matières organiques biodégradables et à se ressembler à ceux des pays industrialisés, dont le ratio DCO/DBO₅ varie entre 2,2 et 2,8. A l'opposé, ledit ratio montre en saison humide que ces effluents sont riches en matières organiques biodégradables et correspondent quasiment au ratio (2,0 - 2,3) reconnu aux effluents domestiques des pays en développement (DEGREMONT, 2005).

En plus, le fait que les structures de production (petites industries) ne se trouvent pas localisées dans une aire identifiable comme zone industrielle, défaut qui fait que les effluents des unités de production se mélangent aux effluents domestiques, permet aux ERU d'atteindre les seuils élevés de pollutions (Tableau 47).

En parallèle, les MES illustrent également le niveau élevé des pollutions dans la ville. En saison sèche, les concentrations en MES dans ces exutoires (186 - 450 mg/l) correspondent aux normes des ERU, signalées par DEGREMONT (1989) et Metcalf et Eddy (2003). La recette formée par le manque d'une politique réelle de gestion, l'anarchie observée dans l'occupation urbaine, ainsi que les phénomènes érosifs pourraient expliquer l'augmentation des MES en saison humide, dont les teneurs moyennes varient entre 812 et 1521 mg/l.

Tableau 47. Teneurs (mg/l) des pollutions majeures et sels nutritifs dans les exutoires sélectionnés

Saison	Paramètre (mg/l)	ITFM	Rukumbuka	PIR	Nyamugo	Bagira
Sèche	DCO	390 ± 77	589 ± 139	262 ± 89	548 ± 88	331 ± 129
	DBO ₅	158 ± 44	232 ± 61	102 ± 51	217 ± 24	161 ± 37
	MES	288 ± 63	450 ± 122	186 ± 67	396 ± 69	276 ± 81
	NT	12 ± 2,9	13,5 ± 2,7	12,2 ± 3,7	19,3 ± 2,1	12,8 ± 4,6
	PT	3,4 ± 1,5	2,7 ± 1,8	1,2 ± 0,4	5 ± 2	2,6 ± 0,9
Humide	DCO	1016 ± 329	1996 ± 364	2203 ± 462	2008 ± 637	2015 ± 672
	DBO ₅	425 ± 107	1005 ± 248	1071 ± 258	998 ± 360	991 ± 350
	MES	812 ± 172	1491 ± 237	1513 ± 194	1489 ± 311	1521 ± 240
	NT	31,6 ± 10,9	34,1 ± 5,9	32,8 ± 5,4	30,9 ± 6,2	33,5 ± 3,9
	PT	3,2 ± 2,1	5,8 ± 2,1	5,1 ± 1,9	4,8 ± 2,2	3,7 ± 1

Par ailleurs, les sels nutritifs (azote et phosphore), remplissant divers rôles dans le métabolisme cellulaire outre le fait qu'ils interviennent aussi dans la composition bactérienne respectivement à l'ordre de 7 - 10% et 2 - 3% (DEGREMONT, 2005), montrent en saison sèche, des teneurs en azote total (12 - 19 mg/l) inférieures aux normes (20 - 70 mg/l) comme c'est signalé par Metcalf et Eddy (2003). Ces valeurs parviennent à doubler ou tripler en saison humide (lessivage). Pour le phosphore total, sauf à Nyamugo, les effluents urbains présentent de teneurs relativement faibles en saison sèche. Celles-ci augmentent en saison humide en général et se retrouvent dans les normes (4 - 14 mg/l) des ERU, probablement à cause des érosions, lessivage, pollutions diffuses (engrais) ou ponctuelles (rejets de détergents constitués de phosphates) en accord avec DEGREMONT (2005).

5.3.2.1.4 Les flux de pollutions urbaines en équivalent-habitant suivant les saisons

Les flux des pollutions des exutoires de Bukavu sont exprimés dans le tableau 48 en équivalent-habitant en fonction des saisons. Globalement, on peut y remarquer que les charges en équivalent-habitant de différents paramètres étudiés (DCO, DBO₅, MES, NT et PT) dans ces exutoires passent facilement du simple au triple, voire au décuple, quand l'on passe de la saison sèche à la saison humide.

Tableau 48. Charges des pollutions au niveau des exutoires domestiques. Obtenues sur base des charges d'EH trouvées par Nsavyimana (2014) à Bujumbura (DCO=117,08 g.EH.j⁻¹; DBO₅=54,53 g.EH.j⁻¹; MES=62,17 g.EH.j⁻¹) et des charges d'application en Belgique (NT=10,6 g.EH.j⁻¹; PT=4,41 g.EH.j⁻¹)

		Saison sèche (SS)		Saison humide (SH)		Charges (SS+SH)	
		kg.j ⁻¹	EH.j ⁻¹	kg.j ⁻¹	EH.j ⁻¹	kg.j ⁻¹	EH.j ⁻¹
ITFM	DCO	690 ± 180	5894 ± 1538	3163 ± 1431	27019 ± 12225	3853	32913
	DBO ⁵	283 ± 108	5210 ± 1988	1323 ± 518	24370 ± 9547	1606	29580
	MES	509 ± 145	8180 ± 2339	2503 ± 817	40257 ± 13137	3012	48437
	NT	21 ± 8	1961 ± 755	96 ± 36	9038 ± 3437	117	10999
	PT	6 ± 2	1333 ± 452	9 ± 5	2115 ± 1114	15	3448
Rukumbuka	DCO	1305 ± 422	11146 ± 3606	8482 ± 2814	72443 ± 24036	9787	83589
	DBO ⁵	512 ± 172	9438 ± 3165	4302 ± 1643	79219 ± 30251	4814	88657
	MES	977 ± 285	15721 ± 4591	6287 ± 1884	101131 ± 30298	7264	116852
	NT	30 ± 12	2853 ± 1099	142 ± 39	13432 ± 3679	172	16285
	PT	6 ± 3	1303 ± 793	24 ± 10	5506 ± 2236	30	6809
PIR	DCO	341 ± 171	2915 ± 1464	4375 ± 1824	37367 ± 15577	4716	40282
	DBO ⁵	135 ± 93	2479 ± 1706	2153 ± 1001	39650 ± 18426	2288	42129
	MES	242 ± 122	3885 ± 1963	2974 ± 981	47841 ± 15780	3216	51726
	NT	16 ± 7	1468 ± 626	63 ± 13	5900 ± 1208	79	7368
	PT	2 ± 1	346 ± 166	10 ± 4	2192 ± 891	12	2538
Nyamugo	DCO	932 ± 228	7963 ± 1944	7043 ± 3824	60152 ± 32658	7975	68115
	DBO ⁵	366 ± 56	6744 ± 1040	3551 ± 2074	65396 ± 38203	3917	72144
	MES	663 ± 97	10660 ± 1565	4945 ± 1970	79538 ± 31683	5608	90198
	NT	33 ± 6	3096 ± 596	102 ± 44	9597 ± 4177	135	12693
	PT	8 ± 3	1867 ± 606	15 ± 8	3319 ± 1755	23	5186
Bagira	DCO	650 ± 252	5553 ± 2152	7078 ± 4370	60456 ± 37327	7728	66009
	DBO ⁵	318 ± 76	5851 ± 1406	3483 ± 2262	64144 ± 41650	3801	69995
	MES	550 ± 183	8841 ± 2947	5072 ± 2193	81588 ± 35274	5622	90429
	NT	25 ± 9	2376 ± 860	109 ± 36	10248 ± 3378	134	12624
	PT	5 ± 2	1176 ± 431	13 ± 7	2851 ± 1583	18	4027

Les pluies offrent des facilités permettant les vidanges des toilettes et des bassins de retenue ménagers, ainsi que l'évacuation aisée des boues et divers déchets. L'exutoire de Rukumbuka s'avère comme étant le plus chargé de tous au regard des résultats révélés dans cette étude.

La valeur relativement basse en équivalent-habitant remarquée à l'exutoire de PIR est tout simplement liée au fait que cet exutoire est raccordé à moins des ménages par rapport à ceux de Rukumbuka et de Nyamugo. Rappelons que les 3 exutoires (Rukumbuka, PIR et Nyamugo) passent par le quartier Nyamugo mais, contrairement à 2 autres (Rukumbuka et Nyamugo) qui commencent plus en amont de l'emblématique quartier de Nyamugo et

desservent successivement les quartiers Funo et Buholo, l'exutoire de PIR naît au sein dudit quartier (Nyamugo) avant de se jeter dans la rivière Kahwa.

Des traitements effectués sur l'ensemble des résultats physicochimiques obtenus dans chacun de 5 exutoires pendant les 2 saisons et partant des valeurs de p trouvées et qui sont inférieures à 0,05 (en général, $P < 0,001$), il se dégage l'absence des différences significatives entre ces exutoires par rapport à la majorité des paramètres étudiés (DCO, DBO₅, MES et NT)($dl=55$, $F=1$; $dl=55$, $F=1,17$; $dl=55$, $F=0,99$; et $dl=55$, $F=0,17$); tandis que sur PT, il s'est avéré des différences significatives entre Nyamugo et Bagira ($p=0,0395$)($dl=55$, $F=1,79$), ainsi qu'entre Nyamugo et PIR ($p=0,0395$). La densité humaine responsable des rejets qu'évacue Nyamugo, étant très élevée, en serait responsable, alors qu'elle est relativement faible pour PIR et Bagira. Nous rappelons qu'outre les ménages qui y sont connectés, l'exutoire de Nyamugo reçoit également les rejets du grand marché de Kadutu.

En tenant compte de l'influence possible des saisons sur les pollutions physicochimiques évacuées par les exutoires domestiques de Bukavu, nous avons abouti aux constats suivants: sur DCO, il n'y a pas de différence significative entre 4 exutoires (PIR, Bagira, Nyamugo et Rukumbuka; $P > 0,05$) en saison humide mais plutôt entre chacun d'eux et ITFM ($P < 0,05$); aussi, les différences ne sont pas significatives en saison sèche, entre les 5 exutoires ($P > 0,05$). Ceci nous amène à considérer les eaux de ruissellement comme responsables de cette distribution.

En effet, grâce à l'action des pluies, les 4 exutoires recueillent directement d'importantes charges polluantes (de bout à bout) provenant des ménages et diverses structures de production étant donné que les 4 exutoires passent dans des zones densément peuplées en général, alors qu'ITFM, après avoir recueilli des rejets des quartiers aussi densément peuplés, doit traverser un important espace boisé, à travers lequel la végétation pourrait limiter les nouveaux afflux de pollutions. Par rapport à la DBO₅, la description que nous venons de faire pour la DCO reste aussi valide. Donc, les 2 paramètres sont fortement liés et soutenus par la même description.

Par ailleurs, pour les MES, c'est la même description que celle faite sur la DCO et la DBO₅ en saison humide; donc, il n'y a pas de différence significative en saison humide entre 4 exutoires (Bagira, PIR, Nyamugo et Rukumbuka) mais plutôt entre chacun d'eux et ITFM. Par contre, en saison sèche, la différence est significative seulement entre PIR et Nyamugo, aussi également entre PIR et Rukumbuka. La longueur et surtout l'importance des charges drainées par Nyamugo et Rukumbuka font que les 2 émissaires puissent être différents de PIR.

En somme, de par les valeurs dégagées dans ce chapitre, les comportements et les fluctuations des pollutions évacuées par les émissaires urbains témoigneraient de la dynamique et de l'anarchie qui caractérisent l'assainissement de la ville de Bukavu et la structure caractérisant l'occupation du sol.

En effet, au manque ou au déficit d'assainissement de base dans la ville, s'ajoute le problème crucial de la réglementation des structures de production surtout des secteurs secondaire et tertiaire que l'on peut retrouver ci et là dans la ville. Etant donné que les rejets ne constituent pas la préoccupation des décideurs et dirigeants de la ville, voire des populations, des flux importants peuvent arriver en n'importe quel moment à tout ouvrage d'évacuation des eaux usées ou de l'eau en général comme les exutoires domestiques ou les rivières.

5.3.2.2 Volet bactériologique dans les exutoires domestiques

La recherche dans le domaine de la bactériologie a conduit au dénombrement des bactéries témoins de la contamination fécale (Tableau 49). Par souci de synthèse, ces résultats seront présentés ici en maxima, moyenne et minima des unités formant colonies (UFC) dans 100 ml. La dynamique de ces germes suivant les saisons sera aussi mise en évidence afin de souligner non seulement le rôle de certains paramètres comme la pluie dans le phénomène des pollutions mais aussi pour identifier les risques divers induits par le contexte socioéconomique des populations.

Tableau 49. Germes de contamination fécale dans les exutoires de Bukavu [UFC=Unités formant colonies; CF=Coliformes fécaux; SF=Streptocoques fécaux; CSR=Clostridium sulfito-réducteur]

Exutoire	Paramètre (UFC/100ml)	Saison sèche			Saison de pluie		
		Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
ITFM	CF	2×10^4	$1,8 \times 10^5$	$4,8 \times 10^5$	7×10^4	$1,4 \times 10^6$	$2,9 \times 10^6$
	SF	$5,4 \times 10^4$	$1,5 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	2×10^5	$1,5 \times 10^6$	3×10^6
	<i>E. coli</i>	$1,4 \times 10^4$	$1,2 \times 10^5$	3×10^5	5×10^4	$1,1 \times 10^6$	$2,3 \times 10^6$
	CSR	0	0	0	0	32	225
Rukumbuka	CF	$4,5 \times 10^6$	$5,2 \times 10^6$	6×10^6	$3,9 \times 10^6$	$9,1 \times 10^6$	$3,1 \times 10^7$
	SF	2×10^5	$1,1 \times 10^6$	$2,2 \times 10^6$	2×10^5	$8,9 \times 10^5$	$4,5 \times 10^6$
	<i>E. coli</i>	$2,9 \times 10^6$	$4,1 \times 10^6$	$5,1 \times 10^6$	3×10^6	$7,4 \times 10^6$	2×10^7
	CSR	0	19	44	0	51	550
PIR	CF	$5,2 \times 10^5$	3×10^6	$4,5 \times 10^6$	$2,3 \times 10^6$	$4,1 \times 10^6$	$4,9 \times 10^6$
	SF	3×10^5	4×10^5	5×10^5	2×10^5	$6,1 \times 10^5$	$2,4 \times 10^6$
	<i>E. coli</i>	$4,4 \times 10^5$	$2,5 \times 10^6$	$3,8 \times 10^6$	$2,3 \times 10^4$	$3,5 \times 10^6$	$3,9 \times 10^6$
	CSR	0	20	88	0	43	275
Nyamugo	CF	$1,9 \times 10^6$	$3,2 \times 10^6$	4×10^6	$2,7 \times 10^6$	$5,8 \times 10^6$	2×10^7
	SF	$5,2 \times 10^4$	$2,7 \times 10^5$	$5,2 \times 10^5$	$2,2 \times 10^5$	$8,8 \times 10^5$	$4,8 \times 10^6$
	<i>E. coli</i>	$1,7 \times 10^6$	$2,4 \times 10^6$	$3,2 \times 10^6$	$2,1 \times 10^6$	$4,7 \times 10^6$	$1,4 \times 10^7$
	CSR	0	96	350	0	112	540
Bagira	CF	$8,2 \times 10^5$	$1,9 \times 10^6$	$2,9 \times 10^6$	$3,2 \times 10^5$	$3,4 \times 10^6$	$5,2 \times 10^6$
	SF	$5,3 \times 10^4$	$3,8 \times 10^5$	9×10^5	6×10^5	$8,6 \times 10^5$	$9,8 \times 10^5$
	<i>E. coli</i>	6×10^5	$1,5 \times 10^6$	$2,3 \times 10^6$	$2,7 \times 10^5$	$3,1 \times 10^6$	5×10^6
	CSR	0	6	35	0	12	53

Les résultats révèlent des concentrations élevées de CF, SF et *E. coli* tant en saison sèche qu'en saison humide où les moyennes sont décuplées vis-à-vis de celles obtenues en saison sèche. Par contre, les CSR n'ont été dénombrés principalement qu'en saison humide; les raisons relatives à leur métabolisme anaérobie et la délicatesse de leur culture expliqueraient cette faiblesse. A l'exception des CSR qui sont de faibles concentrations, les ERU de Bukavu comprennent d'importantes teneurs en germes témoins de contamination fécale (CF, SF et *E. coli*), dont les concentrations moyennes peuvent s'évaluer à l'ordre de 5 à 6 unités logarithmiques.

En fonction de la valeur présentée de p ($P < 0,05$) ($df=95$, $F=8,58$) concernant les teneurs des CF, le collecteur de Rukumbuka est significativement différent des autres collecteurs, notamment ITFM ($p < 0,0001$), PIR ($p = 0,0011$), Nyamugo ($p = 0,0195$), et Bagira ($p = 0,0001$). La longueur importante dudit collecteur (Rukumbuka) par rapport aux autres, au cours de laquelle il reçoit les eaux résiduaires des quartiers populaires et denses de Cimpunda, Funu, Rukumbuka Nyamugo, Camp Zaire et Industriel, expliquerait cette différence significative. Par ailleurs, vu que $p > 0,05$ entre Nyamugo, PIR et Bagira, de même entre Bagira et ITFM, la différence n'est pas significative.

En effet, ces 3 collecteurs (Nyamugo, PIR et Bagira) ont en commun un certain nombre de caractéristiques (drainage d'un petit nombre de quartiers par chacun de ces collecteurs, drainage par chacun d'un marché, connections par des ménages tout le long de chacun de collecteur) mais d'importances relatives variées. De même, la faiblesse relative des pressions anthropiques de Bagira et ITFM en comparaison aux autres collecteurs, ainsi que leurs localisations à la périphérie de la ville, feraient que la différence ne soit pas significative entre elles.

Par rapport aux teneurs en *E. coli*, les comportements des exutoires signalés précédemment dans le cadre des CF sont les mêmes qu'ici, excepté le fait qu'en plus, la différence est également significative entre ITFM et Bwindi. Ce profil se justifierait par une double explication: (i) dans un groupe des CF, les colonies d'*E. coli* représentent la plus grande part, (ii) vu le caractère récent de la pollution induite par *E. coli*, la végétation (le bois de Bugabo) par lequel passe ITFM avant de se déverser dans la rivière Kahwa, limiterait les rejets continus des ERU contrairement à ce qui prévaut à l'exutoire de Bagira.

Par contre, ITFM est différent significativement de Nyamugo ($p = 0,0018$) et PIR ($p = 0,0290$); Nyamugo et PIR font l'objet de fortes pressions anthropiques (drainage de quartiers à forte densité humaine, notamment le quartier Nyamugo, grand-marché de Kadutu et marché Limanga) alors que ITFM, après avoir recueilli les ERU du quartier surplombant cette école technique (ITFM) dont il porte le nom et du Lycée Wima, traverse le bois de Bugabo avant de déboucher sur la Kahwa. Par ailleurs, en comparant les teneurs de CF et EC, on se rend compte que la part revenant aux *E. coli* des CF trouvés varie de 79 à 89% dans les exutoires

domestiques de Bukavu, proche de 96% mentionnés dans la littérature (Akrim, 1992) concernant la part revenant aux EC parmi les CF trouvés dans les ERU.

Quant à la distribution des SF, les 3 rivières (Rukumbuka, Nyamugo et Bagira) n'ont pas présenté de différences significatives ($p > 0,05$) ($df=95$, $F=1,62$) non seulement entre elles mais aussi entre chacune d'elles et Bagira, et chacune d'elles encore avec ITFM. Le caractère chronique des pollutions qui prévalent dans exutoires feraient que la différence ne soit pas significative entre ces collecteurs. Cependant, il s'est avéré une différence significative entre ITFM et PIR, pouvant résulter du fait que PIR, relativement court, reçoit en toute sa longueur des eaux usées domestiques, tandis qu'ITFM ne reçoit les ERU qu'en amont et traverse une grande zone formée du bois de Bugabo où le déversement des eaux sanitaires diminuent sensiblement mais où la fréquentation du bétail constituerait un apport important en SF.

Au regard des valeurs obtenues, nos résultats sont proches de ceux de Hamouri *et al.* (1994) qui a trouvé des valeurs de l'ordre de 7 unités logarithmiques (CF et SF) et appartiennent à l'intervalle reconnue par Metcalf et Eddy (2003), notamment 10^3 - 10^8 UFC/100 ml (CF).

Le rapport CF/SF révèle que les pollutions fécales drainées dans les exutoires de Bukavu sont très importantes et seraient d'origine exclusivement humaine à 95% dans l'exutoire de Nyamugo, 85% (Rukumbuka), 80% (PIR) et 55% (Bagira). A l'opposé, l'origine animale de ces pollutions est signalée à ITFM (35%) et à Bagira (10%). L'origine mixte mais à dominante animale est signalée à ITFM (55%), à PIR (10%) et à Rukumbuka (5%), et celle à dominante humaine est de l'ordre de 10% dans les eaux de ITFM, Rukumbuka et PIR, 5% (Nyamugo) et 35% (Bagira).

Ainsi, de par les plages de variation respectives, Nyamugo et Rukumbuka font l'objet principalement des pollutions humaines, de même PIR et Bagira mais avec une légère influence animale (pour ces 2 derniers) qui proviendrait de la présence des marchés et des activités d'abattage du bétail. Par contre, ITFM subit des pollutions fécales d'origine animale principalement à cause des activités pastorales qui s'y passent (Tableau 50).

Tableau 50. Types de pollutions bactériologiques des exutoires en fonction des classes de CF/SF

Rivières	Classes de CF/SF				Plage de variation
	< 0,7	0,7 - 2	2 - 4	> 4	
	%				
ITFM	35	55	10	0	<0,7 - 2,6
Rukumbuka	0	5	10	85	2 - 31,6
PIR	0	10	10	80	1 - 23,5
Nyamugo	0	0	5	95	2,9 - 37,7
Bagira	10	0	35	55	<0,7 - 48,1

5.3.2.3 Volet parasitologique dans les exutoires domestiques

Le diagnostic parasitaire des effluents domestiques a permis de remarquer que les analyses des échantillons se sont révélées positives en général dans tous les exutoires concernés par cette recherche: ITFM (55%), Rukumbuka (85%), PIR (85%), Nyamugo (65%) et Bagira (80%) (Tableau 51).

Tableau 51. Fréquences synthétiques des dénombrements parasitaires des eaux résiduaires urbaines en fonction des saisons

Exutoires	Cas positifs (%)	Effectifs totaux des œufs dénombrés	Concentration moyenne des œufs/litre	
			Saison sèche	Saison humide
ITFM	55	144,3	8,1	6,8
Rukumbuka	85	998,6	72,8	40,1
PIR	85	710,9	45,7	31,2
Nyamugo	65	416,1	19,7	21,3
Bagira	80	835	56,4	35,5

Des effectifs des œufs dénombrés, Rukumbuka se pointe en première position suivi de Bagira, de PIR, de Nyamugo, enfin d'ITFM. Les valeurs moyennes en ces différents exutoires sont plus élevées en saison sèche qu'en saison humide. En effet, Rukumbuka se présente avec une concentration moyenne de 72,8 œufs/litre en saison sèche contre 40,1 œufs/litre en saison humide. Les faibles concentrations moyennes sont de 8,1 œufs/litre et 6,8 œufs/litre à l'ITFM (Tableau 52). Les faibles concentrations obtenues pendant la saison humide seraient probablement dues à l'effet de dilution car les gros volumes des eaux qui s'écoulent sont susceptibles de diluer fortement les effluents.

Tableau 52. Concentrations en parasites dans les exutoires de Bukavu suivant les taxons (A=ITFM, B=Rukumbuka, C=PIR, D=Nyamugo et E=Bagira)

Groupes	Espèces (œufs/litre)	A	B	C	D	E
Protozoaires	<i>E. histolytica</i>	-	1,6	2,8	-	0,9
	<i>G. lamblia</i>	-	1	5,6	1	6,1
	<i>E. coli</i> *	1,1	4,1	2,8	1	-
Nématodes	<i>Ascaris sp.</i>	2,3	11,3	9	10	14,9
	<i>Ankylostoma sp.</i>	0,4	9,7	7	1,8	2,6
	<i>S. stercoralis</i>	-	5,5	-	-	5,3
	<i>T. trichiura</i>	-	2,3	1,2	1	2,8
	<i>T. saginata</i>	0,9	4,6	4,7	3,5	1,3
Cestodes	<i>H. diminuta</i>	2	4,1	1,2	2,5	7,9
	<i>H. nana</i>	-	-	1,3	-	-
Trématodes	<i>S. mansoni</i>	0,5	5,6	-	-	-

*Pour les résultats relatifs au volet parasitologique, *E. coli* est le protozoaire *Entamoeba coli*

Les effluents domestiques de la ville de Bukavu sont riches en parasites appartenant aux groupes des protozoaires, nématodes, cestodes et trématodes. Les nématodes constituent le groupe le plus important de tous les parasites charriés par les effluents de la ville de Bukavu et sont dominés par *Ascaris sp.* Mais, la faible teneur des trématodes pourrait se motiver par la non performance de la méthode appliquée pour isoler les œufs de trématodes comme l'a mentionné l'OMS (1997). Les travaux de Nsom-Zamo (1999) en ont également mentionné les faibles performances.

Cependant, nous pourrions ajouter également d'autres faits qui expliqueraient la faiblesse des trématodes dans les ERU. D'une part, on pourrait penser à la faiblesse de la prévalence des infestations aux trématodes, plus particulièrement à la schistosomiase, dans la ville de Bukavu comme l'un des facteurs explicatifs de ce phénomène. D'autre part, cette faiblesse serait liée au fait que leurs vecteurs de transmission que sont les gastéropodes, ne trouvent pas de conditions idéales à leur croissance dans ces exutoires généralement privés de végétation à cause de la densité humaine importante et des particularités climatiques et édaphiques prévalant dans la ville. Mais en saison de pluie, leur présence au niveau des exutoires de Rukumbuka et d'ITFM serait motivée par la forte densité (expulsion directe de parasites par les personnes infestées lors de la défécation) et les reliques de végétation bordant Rukumbuka, et par le bois (végétation) de Bugabo par lequel passe ITFM et idéal à la croissance des gastéropodes.

Le tableau 53 révèle que de 4 taxons de parasites dénombrés (protozoaires, nématodes, cestodes et trématodes), les saisons sèche et humide se partagent pour les protozoaires respectivement 38,7% et 61,3% (ITFM), 66,1% et 33,9% (Rukumbuka), 50% chacune (PIR), 49 et 51% (Nyamugo), 48,5 et 51,5% (Bagira); pour les nématodes, 37,9% contre 62,1% (ITFM), 60,3% contre 39,7% (Rukumbuka), 27,4% contre 72,6% (PIR), 30,5% contre 69,5% (Nyamugo) et 36,2% contre 63,8% (Bagira).

Tableau 53. Concentrations pondérales (en %) des ERU dans les exutoires en fonction des groupes de parasites et des saisons (A=ITFM, B=Rukumbuka, C=PIR, D=Nyamugo et E=Bagira)

Taxons (en %)	Saison sèche					Saison humide				
	Exutoires									
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
Protozoaires	38,7	66,1	50	49	48,5	61,3	33,9	50	51	51,5
Nématodes	37,9	60,3	27,4	30,5	36,2	62,1	39,7	72,6	69,5	63,8
Cestodes	16	0	47,7	17,3	46,6	84	100	52,3	82,7	53,4
Trématodes	-	-	-	-	-	100	100	-	-	-

Parallèlement, pour les cestodes, excepté à Nyamugo, leur occurrence en saison humide est plus importante qu'en saison sèche. De la même manière, aucune présence des trématodes dénombrés n'a été signalée en saison sèche. Une fois de plus, ceci montre l'impact de la

saison humide dans la dissémination des parasites dans un milieu pauvre en système efficace d'assainissement comme la ville de Bukavu. Par ailleurs, une double explication appuierait la prépondérance des nématodes sur les autres groupes (cestodes, trématodes, protozoaires), notamment leur résistance plus importante dans les ERU et leur mode de transmission (cycle direct). La littérature est abondante en ce qui concerne cette prédominance car plusieurs recherches l'ont relevée, parmi lesquelles les études de Stien et Schwartzbrod (1987); EL Guamri et Belghyti, 2007; Niang, 1996; Cissé *et al.*, 2011).

Conclusion

Cette étude s'est attelée à la caractérisation des pollutions domestiques générées à Bukavu. Elle a permis d'appréhender les comportements des flux des pollutions dans les rivières et les exutoires urbains de la ville, qui subissent tout au long de leurs parcours des pressions constantes et constituent les réceptacles des effluents liquides et de divers déchets au vu d'absence d'un système performant et efficace d'assainissement. La recherche signale des concentrations et charges élevées des pollutions physicochimiques majeures et chimiques. En parallèle, les pollutions microbiologiques se sont également avérées importantes, évaluées à des teneurs moyennes en germes de contamination fécale de l'ordre de 5 à 6 unités logarithmiques et à la présence d'une flore riche en parasites, notamment les Nématodes, Cestodes, Protozoaires et Trématodes. Dans un contexte d'absence de systèmes efficaces d'assainissement, l'ensemble formé par la densité humaine et les activités anthropiques, serait responsable desdites pollutions dont les charges, quoiqu'importantes durant toute l'année, augmentent remarquablement pendant la saison de pluie, longue de 9 mois.

A la lumière des résultats obtenus, les pollutions mises en évidence s'apprêteraient à un traitement biologique d'autant plus que le ratio DCO/DBO₅ est compris en général entre 1,5 et 3. En perspective d'éventuelles études ultérieures, il sera important de multiplier les stations pour déterminer les différents profils de pollutions produites dans cette ville et de déterminer leurs différentes fractions (dissoutes et particulaires) en prévision de comprendre et simuler leur devenir dans le lac Kivu, qui au-delà du simple fait d'être leur réceptacle, comprend de multiples enjeux, parmi lesquels la problématique des réserves importantes en gaz carbonique et méthane, qui, suivant le degré de responsabilité managériale, menaceraient l'existence même des populations riveraines ou contribueraient à la promotion socioéconomique et politique de la région des grands-lacs africains, souvent en proie de multiples conflits et insécurité.

Références bibliographiques

Akrim M. (1992). Caractérisation microbiologique des eaux usées C.E.A. Option: traitement et valorisation des eaux usées. Université Choib Doukali, El Jadida. In: Khourradi R. (2007). Evaluation du degré de la pollution anthropique de l'estuaire de Bou Regreg et impact sur la biologie et dynamique de *Scrobicularia plana* (Linné, 1758) et *Solen marginatus* (Linné,

1767). Thèse de doctorat d'Etat. Université Mohammed V - AGDAL, Faculté des sciences, Rabat. 301p.

Alouini Z., H. Achour, A. Alouini. (1995). "Devenir de la charge parasitaire des eaux usées traitées dans le réseau d'irrigation "Cebala" in Zekri, Laajini A." (Ed) agriculture durabilité et environnement. Zaragoza: CIHEAM, 117-124.

Baudart J., Lemarchand K., Brisabois A. and Lebaron P. (2000). Diversity of Salmonella strains isolated from the aquatic environment as determined by serotyping and amplification of the ribosomal DNA spacer regions. *Applied and Environmental Microbiology*, 66(4): 1544-1552.

Borrego A.F. et Romero P. (1982). Study of the microbiological pollution of a Malaga littoral area II. Relationship between fecal coliforms and fecal streptococci. *Vie journée étud. Pollutions*, Cannes, France, pp. 561-569.

Bouhoum K. (1996). Etude épidémiologique des helminthiases intestinales chez les enfants de la zone d'épandage des eaux usées de Marrakech/Devenir des kystes de protozoaires et des œufs d'helminthes dans les différents systèmes extensifs de traitement des eaux usées. Thèse de Doctorat d'Etat. Fac. Sci. de Marrakech. 227p.

Cissé M., N'Guessan F., Karamoko Y., Tigoli K., Dje Bi Dje F., Gourene G. (2011). Charge parasitaire des eaux usées du collecteur « Gouro » traversant les communes d'Abobo, Adjamé et Cocody (District d'Abidjan). *Les technologies de laboratoire*, Volume 6, N°25, 96 - 105.

Dajoz R., 2000. Précis d'écologie. 7ème édition. Dunod, Paris, France, 615p.

DEGREMONT (1989). Mémento technique de l'eau. Lavoisier, Tec. & Doc. 9ème ed. 1459p.

Djuikom E. (1997). Qualité bactériologique et physicochimique des cours d'eau du réseau de Mfoundi à Yaoundé. Thèse de Doctorat 3è cycle en Biologie animale, option Microbiologie des Eaux, Laboratoire de Biologie Générale, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I.

Dufayt O., Nameche T., Vassel J.-L., Edeline F. (1995). A simple method for open channel flow measurement air bubbles injection systems.- IAWQ, 3rd International Symposium on Air-Water Gas Transfer, Heidelberg (Germany).

Effebi K. R. (2008). Lagunage anaérobie: Modélisation combinant la décantation primaire et la dégradation anaérobie. Ph.D. Thesis, Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, 165 p.

EL Guamri Y. et Belghyti D., 2007. Contamination des eaux usées du réseau d'assainissement liquide par les œufs d'helminthes (cas de la ville de Kénitra, Maroc). *Revue Microbiologique Industrielle Sanitaire et Environnementale*, 1 : 44-59.

El Hamouri B., Khallayoune K., Bouzoubaa K., Rhallabi N. & Chalabi M. (1994b) High-rate algal pond performances in faecal coliforms and helminth egg removals. *Wat. Res.* 28 (1) : 171-174.

Geldreich E. E. (1967). Fecal coliform concepts in stream pollution. *Water Sewage Works* 114(1):R-98, R-107-110.

Georges I. et Servais P. (2002). Contamination microbienne des eaux du bassin de la Seine. In: "Eau dans la ville et développement durable". Presses des ponts et Chaussées, Paris. pp 75 - 85.

Hebert S. et Légare S. (2000). Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère de l'Environnement Gouvernement du Québec, 5p.

Iltis A. et Lévêque C. (1982). Caractéristiques physico-chimiques des rivières de Côte d'Ivoire. *Rev. Hydrobiol. trop.* 15 (2): 115-130.

Ilunga L. (1977). L'érosion dans la ville de Bukavu. *Antennes*, revue du CERUKI, cinquième année, n° 2, pp 277-299.

Ilunga L. (1989). Problèmes géologiques d'aménagement dans la zone de Kadutu (ville de Bukavu, Zaïre). *Cahiers du CERUKI*, nouvelle série, n° 24, pp 40-51.

Inspection Provinciale de la Santé (2011). Rapport annuel-ville de Bukavu (2011).

Issola Y., Kouassi A.M., Dongui B.K. et Biemi J. (2008). Caractéristiques physico-chimiques d'une lagune côtière tropicale : lagune de Fresco (Côte d'Ivoire). *Afrique SCIENCE*, 04(3), 368 - 393.

Kouam Kemnogne G.R. (2013). Vers une gestion rationnelle de l'eau dans une situation complexe d'urbanisation anarchique dans un pays en développement : cas du bassin versant de l'Abiergué (Yaoundé-Cameroun). Thèse de doctorat, Université de Liège, 256 p.

LAMI (2002). Evaluation de la pollution due au rejet des eaux usées et des déchets solides et mise au point de la carte de pollution de la ville de Yaoundé. Mémoire, ENSP, 58p.

LESEAU (2002). Inventaire des déchets solides et liquides non ménagers de la ville de Yaoundé. Rapport final. ENSP Yaoundé. 153p.

Lina A.A, Buregea H., Mindele U., Bouezmarni M., and Vassel J-L. (2015). Parasitological loads of rivers crossing the city of Bukavu, Democratic Republic of Congo. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, ISSN 2351-8014, Vol. 19 No. 2, pp. 412-422.

Leynaud G. (1968). Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.

Makhoukh M., Sbaa M., Berrahou A., Clooster M. V. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'Oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, n° 09, pp. 149-169.

Metcalf and Eddy Inc. (2003). Waste water engineering treatment and reuse. 4th Edition, Tata Mc Graw Hill publication, New Delhi, 116p.

Muhigwa J. (1999). Analyse des perturbations dans le régime pluviométrique du Sud Kivu durant les 50 dernières années. Mus. roy. Afr. centr., Dépt. Géol. Min., Rapp.1997-1998, 9p.

Muvundja F.A., Pasche N., Bugenyi F.W.B., Isumbisho M., Müller B., Namugize J.-N., Rinta P., Schmid M., Stierli R., Wüest A. (2009). Balancing nutrient inputs to Lake Kivu. *Journal of Great Lakes Research* 35 (2009), pp. 406–418.

Niang S. (1996). Utilisation des eaux usées domestiques en maraîchage périurbain à Dakar, Sénégal. *Sécheresse*, 7(3), pp. 217-223.

Nsavyimana G. (2014). Modélisation des processus physiques et biologiques dans des fosses septiques et voie de valorisation des boues de vidange: application à Bujumbura-Burundi. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 427p.

Nsom-Zamo A-C. (1999). Les parasites des eaux usées: Bioindicateurs de la pollution du bassin du Sebou. Mémoire de DESA: Pollution et Traitement des Eaux. Faculté des Sciences de Kénitra, Maroc, 61p.

OMS (1997). Analyse des eaux résiduaires en vue de leur recyclage en agriculture. Manuel des techniques de laboratoire en parasitologie et bactériologie, Genève, Suisse, 36p.

Orange D. (1992). Hydroclimatologie du Fouta Djallon et dynamique actuelle d'un vieux paysage latéritique (Afrique de l'Ouest). Thèse, Univ. Strasbourg, *Mém. Sc. Géol.*, n°93, 198p.

Ouadghiri A. (1993). Etude du degré de pollution du port de pêche de Casablanca à l'aide d'indicateurs bactériologiques. In: Khourradi R. (2007). Evaluation du degré de la pollution anthropique de l'estuaire de Bou Regreg et impact sur la biologie et dynamique de *Scrobicularia plana* (Linné, 1758) et *Solen marginatus* (Linné, 1767). Thèse de doctorat d'Etat. Université Mohammed V - AGDAL, Faculté des sciences, Rabat. 301p.

Probst J.-L. (1992). Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale. Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. Thèse Sciences, Univ. Strasbourg, *Mém. Sc. Géol.*, n° 94, 200p.

Rejsek F. (2002). Analyse des eaux. Aspects réglementaires et techniques. SCEREN - CRDP Aquitaine. Biologie technique - environnement. Bordeaux. 360p.

Rodier J. (1984). L'analyse de l'eau: Eaux naturelles, eaux résiduaires, et eaux de mer. 7^{ème} édition, *Dunod Technique*, 1136p.

Rodier J. (1996). L'analyse de l'eau: naturelles, eaux résiduaires, et eaux de mer. 8^{ème} édition, *Dunod Technique*, 1365p.

Schmid M., Halbwachs M., Wehrli B. and Wüest A. (2005). Weak mixing in Lake Kivu: New insights indicate increasing risk of uncontrolled gas eruption. *G³*, Volume 6, Number 7, Q07009, doi:10.1029/2004GC000892, ISSN: 1525-2027.

Schwartzbrod J. et Banas S. (2003). Parasite contamination of liquid sludge from urban wastewater treatment plants. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 47 N°3. pp163-166

Stien J.L. et Schwartzbrod J. (1987). Devenir des œufs d'helminthes au cours d'un cycle d'épuration des eaux usées urbaines. *Revue internationale des séries de l'eau*, 3 (3/4): 77-82.

Sy Z.A et Wade S. (2007). Assainissement, salubrité et santé infanto-juvénile en milieu urbain: analyse de l'impact de l'assainissement sur le développement de la pathologie urbaine. Colloque Santé et environnement: risques et enjeux, Université Senghor, Egypte 17-18 février, 11p.

Sylla I. et Belghyti D. (2008). Analyse parasitologique des eaux usées brutes de la ville de Sidi Yahia du Gharb (Maroc). *Revue Mondiale de la Recherche Biologique*, (1) : 2.

W.H.O. (1987). Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, WHO, UNEP.

Wyer M.D., O'Neill G., Kay D., Crowther J., Jackson G. and Fewtrell L. (1997). Non-outfall sources of faecal indicator organisms affecting the compliance of coastal waters with Directive 76/160/EEC. *Water Science and Technology*, 35 (11/12):151-156.

CHAPITRE VI. ETUDE DE LA PREVALENCE DES PARASITOSEs INTESTINALES CHEZ LES ENFANTS EN ÂGE PRÉSCOLAIRE A NYAMUGO, RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE DU CONGO (RDC)

Résumé

Tout en élargissant les possibilités d'éducation à tous les enfants, la plupart des pays africains ont encore du mal à atteindre les objectifs du millénaire pour le développement, notamment ceux en rapport avec l'accès à l'eau et des conditions sanitaires appropriées, tant en milieu rural qu'en celui urbain à faible revenu. Un manque d'assainissement conduit à des problèmes réels de santé chez les personnes les plus vulnérables, notamment les enfants. Une étude axée sur l'observation directe des parasites après la concentration des selles par les méthodes de Willis et de MIF (Mercurothiolate, Iode, Formol), a été menée à Nyamugo, un quartier de la ville de Bukavu dans l'est de la République Démocratique du Congo (RDC), afin d'évaluer la prévalence des maladies parasitaires auprès des enfants en âge préscolaire (de 6 mois à 5 ans) et mettre en évidence les risques potentiels auxquels ils sont confrontés. Un total de 584 échantillons ont été systématiquement recueillis (porte-à-porte) au niveau de six principales avenues qui forment ce quartier. Les résultats montrent une faune composée de 6 à 9 espèces de parasites en fonction des avenues, avec une domination de nématodes comme le taxon le plus représenté des parasites en circulation. Les parasites intestinaux observés appartiennent à un lot de 11 espèces dont *Ascaris lumbricoides* (*A. lumbricoides*), *Ancylostoma duodenale* (*A. duodenale*), *Entamoeba coli*, *Entamoeba histolytica* (*E. histolytica*), *Giardia intestinalis* (*G. intestinalis*), *Necator americanus* (*N. americanus*), *S. mansoni* (*S. mansoni*), *Strongyloides stercoralis* (*S. stercoralis*), *Taenia saginata* (*T. saginata*), *Trichomonas intestinalis* (*T. intestinalis*) et *Trichuris trichiura* (*T. trichiura*). L'espèce *A. lumbricoides* est la plus distribuée chez les enfants en âge préscolaire, et la plus importante de toutes, avec un taux de prévalence variant de 33,8% à 44,4% selon les avenues. Reflétant le caractère précaire de la santé des populations de Nyamugo et du fait des complications de santé y associées, les résultats obtenus pourraient servir de base pour la promotion de l'éducation sanitaire et des activités d'accès à un approvisionnement en eau et à un assainissement améliorés ainsi que pour les campagnes de déparasitage ciblées, en vue d'améliorer les conditions de santé des enfants en âge préscolaire du quartier Nyamugo.

6.1 Introduction

En cette année d'évaluation des atteintes de quelques cibles de déclaration du millénaire, le profil des résultats semble être mitigé en regard des défis qui caractérisent certaines régions géographiques, notamment l'Afrique. L'accès limité à l'eau et à l'assainissement de base, ainsi que le déficit en hygiène personnelle et environnementale, exposent les populations à

des risques énormes de santé, dont les parasitoses qui restent une menace majeure pour les enfants de moins en âge préscolaire (OMS, 2010; Omorodion *et al.* 2012). Diverses causes peuvent expliquer l'importance des parasites intestinaux dans une région. Ainsi peut-on citer les conditions insalubres, égouts inappropriés, approvisionnements inadéquats en eau potable, sols contaminés, activités agro-pastorales (Bundy *et al.*, 1995; Uhuo, 2011). Dans cet élan, Uhuo (2011) mentionne le déficit en hygiène et assainissement adéquat comme un facteur déterminant dans la transmission et la récurrence des parasitoses intestinales.

En 2000, il avait estimé à 4 milliards, le nombre des cas de diarrhées chaque année, parmi lesquels 2,2 millions sont mortels, et la plupart intervenant chez les enfants de moins de 5 ans (OMS et UNICEF, 2000). En effet, les enfants de moins de 5 ans constituent le groupe qui paie le plus lourd tribut en termes de morbidité et de mortalité par le manque d'approvisionnement en eau salubre et en assainissement de base. Divers travaux, parmi lesquels ceux de Bundy *et al.* (1995) et Uhuo *et al.* (2011), soulignent que les nématodoses intestinales sont en lien direct avec un certain type d'activités comme l'agriculture par irrigation, aussi avec la pauvreté, un environnement insalubre et des sols contaminés.

Dans cette optique, l'OMS (2010) atteste que les mauvaises conditions socio-économiques, le déficit des installations sanitaires, l'élimination inadéquate des eaux noires, l'approvisionnement insuffisant en eau potable, l'hygiène personnelle déficitaire, le logement insalubre et le manque d'éducation constituent des facteurs de prédilection pour l'augmentation des vers intestinaux et leur transmission chez les populations. En outre, il est révélé que le déficit en hygiène personnelle et le degré peu avancé d'éducation constituent des déterminants majeurs favorisant l'incidence élevée des helminthiases chez les individus en bas âge plutôt que ceux avancés en âge (Uhuo *et al.*, 2011).

Par ailleurs, les conditions climatiques peuvent influencer la prévalence des helminthiases. La zone tropicale offre des conditions optimales et constitue un cadre propice au développement larvaire jusqu'au stade infestant des parasites, notamment en saison humide qui s'avère favorable. Ces conditions naturelles auxquelles s'associe le déficit en assainissement adéquat, sont à la base d'une part importante de morbidité et de mortalité en pays tropicaux et subtropicaux (Awolaju and Morenikeji, 2009; Odu *et al.*, 2011; Odu *et al.*, 2013.).

En effet, selon l'OMS (2010), 270 millions et plus de 600 millions respectivement des enfants en âge préscolaire et scolaire dans les pays en développement, nécessitent de traitement ou des interventions de prévention car étant exposés aux parasitoses. Il y a donc un besoin urgent de mieux traiter cette problématique afin de permettre la diminution, voire la suppression de ces risques.

Dans le but de déterminer les parasites en circulation au sein des communautés humaines, les études du diagnostic paraclinique ont été effectuées dans plusieurs pays sub-sahariens,

parmi lesquels le Nigeria (Uhuo *et al.*, 2011; Akingbade *et al.*, 2013; Banjo *et al.*, 2013; Ekpo *et al.*, 2008; Idowu and Rowland, 2006; Agbeyangi *et al.*, 2014) et l'Ethiopie (Ali *et al.*, 1999; Girum, 2005; Teklemariam *et al.*, 2014).

En RDC, la forte croissance démographique et de l'urbanisation, associée à un faible taux de couverture d'approvisionnement en eau et d'assainissement de base, conduit à l'augmentation de la vulnérabilité des populations aux maladies liées à l'eau dans de nombreuses régions. Tel est le cas de la ville de Bukavu, qui est soumise à un exode rural important, qu'on peut lier d'une part, à l'insécurité qui sévit à l'est de la RDC, et d'autre part au fait que Bukavu est la seule ville de la province du Sud-Kivu (qui a une superficie de 64851 km²). Cet exode induit d'importantes difficultés d'accès à l'eau potable et aux systèmes d'assainissement améliorés.

Etant donné qu'aucune étude de ce genre n'a été menée, notre recherche vise à combler cette lacune et donner une base pour la prise des décisions et la mise en œuvre d'une politique de santé appropriée. L'objectif de l'étude est d'évaluer la prévalence des maladies parasitaires liées à l'eau chez les enfants en âge préscolaire.

6.2 Matériel et méthodes

6.2.1 Zone d'étude

Nyamugo est l'un des 7 quartiers qui forment la commune de Kadutu et comprend les caractéristiques d'une structure urbaine non planifiée, avec 6 principales avenues. Le choix de ce quartier se justifie par un certain nombre de facteurs: position au centre de la ville, faible taux de collecte d'eaux usées et d'égouttage, accessibilité aux ménages principalement par des piétons, latrines partagées par plusieurs ménages. Jadis d'aspect structural planifié, Nyamugo présente aujourd'hui les caractéristiques d'un quartier spontané et anarchique avec l'intrusion des maisons en semi-durable et destinées à supporter les demandes des nouveaux citoyens, fruit de l'exode rural.

La position centrique de ce quartier (Figure 40) et le fait qu'il abrite le grand marché de Kadutu qui comprend 22000 étals environ et draine des dizaines de milliers de visiteurs quotidiennement, cela en fait un espace d'attrait pour les populations de standing généralement faible. En outre, il comprend une population humaine de 69495 avec une densité évaluée à 13342,9 habitants au km², soit 8,68% de la population de Bukavu chiffrée à 800574 habitants en 2012 (Institut Provincial des statistiques, 2013).

6.2.3 Analyse de laboratoire

Les analyses du laboratoire ont fait recours à l'observation des parasites au grossissement 40x, après l'enrichissement par les méthodes de Willis et de MIF (Mercurothiolate, Iode, Formol) telles que décrites par Rousset (1993). En effet, la méthode de Willis est basée sur le principe de la flottation des œufs de parasites plus légers dans une solution dense, à la surface de laquelle les œufs arrivent à flotter. Elle est simple d'exécution, rapide et bon marché. Par contre, il sied de limiter le temps de contact entre les œufs et la solution vu que cette dernière emploie la chlorure de sodium à saturation qui traverse plus ou moins facilement la coque des œufs parasites, ce qui altère les larves et kystes.

Cette méthode concentre bien les œufs d'ancylostomidés et d'hyménoéléphidés (Rousset, 1993). A l'opposé, le principe de la méthode de MIF est fondé sur la concentration des œufs, dictée par les propriétés diphasiques qui séparent les éléments parasites recherchés des autres fragments banaux présents dans les selles. Cette méthode permet de retrouver tous les types d'œufs des helminthes, les larves, ainsi que les kystes des protozoaires.

6.3 Résultats et discussion

Le tableau 55 montre que 584 échantillons de selles ont été analysés, dont le nombre varie de 60 à 130 selon les avenues de Nyamugo. De ces échantillons, 385 se sont avérés positifs.

Tableau 55. Taux (en %) d'échantillons positifs et nombre d'espèces identifiées par avenues

Avenue	Selles examinées (N=584)	Selles infestées (%)	Espèces dénombrées
Mahenge	130	54 (41,5)	6
Lwama	110	90 (81,8)	8
Kahwa	60	49 (81,7)	9
Du marché	85	49 (57,6)	7
Kibonge	118	98 (83,1)	8
Ambe	81	45 (55,5)	6

Suivant la répartition des selles déclarées positives en fonction des avenues, les taux de prévalence sont élevés et oscillent entre 55,5 % et 83,1 % à l'exception de l'avenue Mahenge (41,5%). Aussi peut-on remarquer que l'effectif des parasites identifiés est variable, entre 6 et 9 espèces par avenue. Les taux de prévalence élevés seraient liés à plusieurs facteurs, dont les mauvaises conditions socio-économiques, le déficit des installations sanitaires, l'élimination inadéquate des eaux noires, l'approvisionnement insuffisant en eau potable, l'hygiène personnelle déficiente, le logement insalubre.

En fait, la plupart des maisons dans ces avenues, enclavées et accessibles essentiellement par des piétons, abritent plusieurs ménages qui partagent souvent les mêmes installations sanitaires, souvent de fortune, et qui ont du mal à inclure les 3 maillons d'assainissement (collecte, évacuation et dépotage/traitement des déchets).

Par contre, l'avenue Mahenge est relativement à bon état en général, ce qui rend la plupart des maisons accessibles par camions. Cette propriété est susceptible de faciliter les travaux et diverses tâches dans le cadre de la promotion et de la mise en place d'un système efficace d'assainissement, faisant que les populations de cette avenue soient moins exposées aux risques sanitaires que celles de 5 autres avenues.

En d'autres termes, l'accessibilité aux ménages est perçue comme un facteur capable d'influer sur la technologie de l'assainissement à mettre en place, notamment en cas de vidange qui peut être mécanique ou semi-mécanique, ce qui nécessite des routes accessibles par voiture ou des ruelles pour la mise en pratique de la tâche d'évacuation et transport de boues (Still and Foxon, 2012; Tilley *et al.*, 2008).

A l'opposé, la vidange manuelle est à proscrire, au vu des risques sanitaires qui l'entachent (Nkansah, 2009). Nos résultats peuvent être appuyés par la thèse de Bigumandondera (2014) qui a signalé la relation entre la technologie de l'assainissement et l'accessibilité aux ménages. Le nombre des parasites identifiés (6 - 9), indique le caractère plus ou moins homogène du cadre de vie des populations de Nyamugo (faible taux de collecte et d'égouttage, déficit sanitaire, proximité, approvisionnement irrégulier en eau).

Le diagnostic (Tableau 56) a permis de mettre en évidence l'infestation à un seul parasite dans 4 des 6 avenues (avenues Mahenge, Kahwa; Dumarché et Ambe) où le nombre des fréquences est égal au nombre des selles diagnostiquées positives, tandis que les cas des infestations à plusieurs parasites chez un même sujet n'ont été répertoriés que dans 2 avenues (Lwama et Kibonge) où le nombre des fréquences est largement supérieur à celui des selles analysées.

La primauté des infestations à un seul parasite sur celle à plusieurs parasites résulterait probablement du fait que l'inspection provinciale de la santé (structure étatique), avec l'appui des organisations non-gouvernementales (ONG) internationales, mène des campagnes régulières pour déparasiter les enfants à travers les communes de Bukavu. Cette pratique s'avère efficace mais se heurte aux défis de manque d'accès à un approvisionnement en eau et à un assainissement améliorés, et aussi aux conditions climatiques tropicales.

En effet, les travaux de Brooker *et al.* (2006), Brooker and Michael (2000) attestent que le climat caractérisé par une humidité adéquate et des températures élevées sont favorables à la prolifération des parasites, permettant ainsi leur transmission chez les hôtes en cas d'exposition.

Par ailleurs, au cours de nos recherches, 11 espèces de parasites ont été identifiées dans l'ensemble des échantillons. De ces espèces, 4 (*A. lumbricoides*, *Entamoeba coli*, *T. intestinalis* et *T. trichiura*) se sont retrouvées à toutes les avenues (6/6), 5 espèces (*E. histolytica*, *G. intestinalis*, *N. americanus*, *S. mansoni* et *T. saginata*) à au moins 3 et au plus 5 avenues alors que 2/11 espèces n'ont été retrouvées chacune qu'à l'une des 6 avenues. Dans

l'ensemble, *A. lumbricoides* est l'espèce la plus abondante et la plus distribuée à chacune de 6 avenues, avec une apparition variant entre 33,8 % et 44,4%. Ceci est en adéquation avec l'OMS (2010) qui atteste que l'ascaridiase est l'une des parasitoses les plus répandues chez les enfants des pays en développement, et qui constitue de ce fait un réel problème de santé publique à travers le degré de la morbidité et de la mortalité qu'elle provoque. Beaucoup d'autres travaux ont mentionné le caractère prépondérant de l'ascaridiase à travers bien des pays en développement (Alli *et al.*, 2011; Odu *et al.*, 2013, Okonko *et al.*, 2009 et Agbeyangi *et al.*, 2014).

Tableau 56. Fréquence des parasites identifiés et leur occurrence

Parasites	Fréquence selles positives (%)						Occu*.
	Avenue						
	Mahenge (N=54)	Lwama (N=90)	Kahwa (N=49)	Dumarché (N=49)	Kibonge (N=98)	Ambe (N=45)	
<i>A. lumbricoides</i>	24 (44,4)	75 (34,6)	18 (36,7)	19 (38,7)	76 (33,8)	17 (37,8)	6/6
<i>A. duodenale</i>	0 (0)	0 (0)	1 (2)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1/6
<i>Entamoeba coli</i>	8 (14,8)	6 (2,8)	5 (10,2)	6 (12,2)	7 (3,1)	8 (17,8)	6/6
<i>E. histolytica</i>	2 (3,7)	12 (5,5)	0 (0)	0 (0)	13 (5,8)	0 (0)	3/6
<i>G. intestinalis</i>	0 (0)	27 (12,4)	3 (6,1)	5 (10,2)	28 (12,4)	5 (11,1)	5/6
<i>N. americanus</i>	0 (0)	0 (0)	2 (4,1)	4 (8,2)	0 (0)	4 (8,9)	3/6
<i>S. mansoni</i>	0 (0)	4 (1,8)	4 (8,2)	0 (0)	5 (2,2)	0 (0)	3/6
<i>S. stercoralis</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	4 (8,2)	0 (0)	0 (0)	1/6
<i>T. saginata</i>	1 (1,9)	18 (8,3)	3 (6,1)	0 (0)	19 (8,4)	0 (0)	4/6
<i>T. intestinalis</i>	7 (13)	43 (19,8)	8 (16,3)	7 (14,3)	44 (19,6)	7 (15,6)	6/6
<i>T. trichiura</i>	12 (22,2)	32 (14,7)	5 (10,2)	4 (8,2)	33 (14,7)	4 (8,8)	6/6
Total	54 (100)	217 (100)	49 (100)	49 (100)	225 (100)	45 (100)	

*Occurrence

Par contre, nos résultats diffèrent de ceux de Taklemariam *et al.* (2014) qui ont trouvé plutôt *S. mansoni* comme l'espèce la plus abondante et la plus distribuée (23,13%) suivie par *H. nana* (11,46%) et *A. lumbricoides* (5,83%) en district d'Enderta au nord de l'Ethiopie. Cette différence serait liée à la nature des eaux usées que reçoivent les cours d'eau et exutoires qui traversent les différentes zones d'études: il s'agit des eaux principalement domestiques pour notre étude alors que pour leur cas, ce sont les eaux agropastorales provenant des systèmes d'irrigation où se font démarquer les trématodes et les cestodes. En plus, leur étude a été réalisée auprès des enfants en âge préscolaire qui ont déjà acquis une certaine autonomie, accompagnant souvent leurs parents dans les activités champêtres, et, par conséquent, qui entrent souvent en contact avec ces eaux chargées et souillées par le bétail.

Remarquons que deux espèces (*A. duodenale* et *S. stercoralis*) se sont avérées comme les moins distribuées (Figure 41; Tableau 56), avec l'apparition dans une seule avenue chacune (avenue Kahwa pour *A. duodenale* avec une fréquence de 2% et avenue Dumarché pour *S. stercoralis* avec une fréquence de 8,2%). Nous pensons que le caractère transcutané qui caractérise leur mode de transmission, ainsi que les sols à dominante argileuse de la ville

moins favorables à leur développement, pourraient être les causes de la limitation de leur infestation, et d'autant plus que la plupart de ces enfants bénéficient plus ou moins de la garde directe de leurs parents ou membres de familles, qui limitent leur mouvement et leur contact avec les eaux des égouts. En parallèle, il s'est avéré une plus grande fréquence d'infestations simples (présence d'une seule espèce parasitaire dans l'échantillon) sur les infestations multiples (plusieurs parasites dans l'échantillon) chez un même individu. Ceci est en accord avec les travaux de Teklemariam *et al.* (2014).

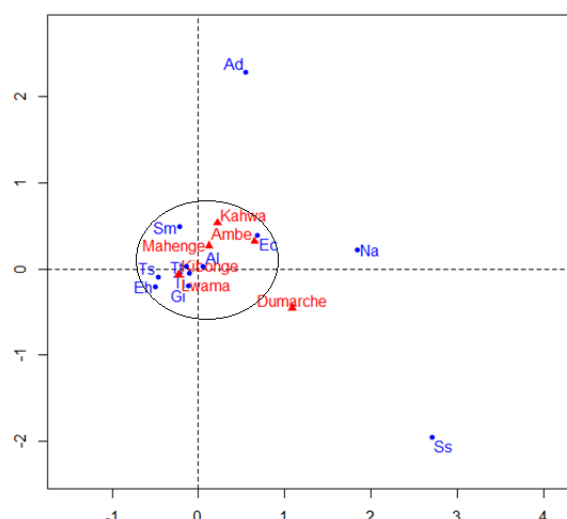


Figure 41. ACM portant sur la répartition des parasites en fonction des avenues

6.4 Conclusion

La prévalence des parasites intestinaux a été évaluée auprès des enfants en âge préscolaire du quartier Nyamugo. Nos résultats révèlent que les taux de prévalence ont varié de 42% à 83% selon les avenues. Il a été révélé la présence de 11 espèces de parasites en circulation au sein de la population infantile dudit quartier. Parmi ces espèces, *A. lumbricoides* s'est illustrée comme la plus distribuée et la plus abondante. L'amélioration de l'accessibilité des populations de Nyamugo à un approvisionnement en eau et à un assainissement améliorés, renforcée par des campagnes de sensibilisation et de déparasitage, pourrait rompre la chaîne de transmission des parasites et limiter l'intensification des cas d'infestation.

Références bibliographiques

- Agbeyangi O.A., Sam-Wobo S.O., Mafiana C.F., Ajayi J.B., Asiwaju R., Agbeyangi A.O. (2014). worm burden of ascaris lumbricoides expelled among primary school children after anti-helminth treatment in three selected local government areas of different soil physiochemical properties in ogun state, Nigeria. Adv. Res. Agri. Vet. Sci. Vol. 1, No. 3, 2014: 109-116.
- Akingbade O.A., Akinjinmi A.A., Ezechukwu U.S., Okerentugba P.O. and Okonko I.O. (2013). Prevalence of Intestinal Parasites among Children with Diarrhea in Abeokuta, Ogun State, Nigeria. Researcher; 5(9): 66-73.

Ali I., Mekete G. and Wdajo N. (1999). Intestinal parasitism and related risk factors among students of Asendabo elementary and junior secondary school, South Western Ethiopia. *Ethiop. J. Health Dev.* 13:157-161.

Alli J.A., Kolade A.F., Okonko I.O., Nwanze J.C., Dada V.K., Ogundele M., Oyewo A.J. (2011). Prevalence of intestinal nematode infection among pregnant women attending antenatal clinic at the University College Hospital, Ibadan, Nigeria. *Advances in Applied Science Research*; 2(4): 1-13.

Awolaju B.A. and Morenikeji O.A. (2009). Prevalence and intensity of intestinal parasites in five communities in south-west Nigeria. *African Journal of Biotechnology*; 8(18): 4542-4546.

Banjo T.A., Amoo A.O.J., Busari A., Kama A.C., Lawal I.A., Ogundahunsi O.A., Olooto W.E., Familoni O.B., Onilude A.A., Mutiu W.B., Oyelere K.A. and Kama G. (2013). Intestinal parasites among abattoir workers in Abeokuta. *American Journal of Research Communication*; 1(10): 84-96.

Bigumandondera P. (2014). Etude de l'assainissement non collectif en Afrique subsaharienne: Application à la ville de Bujumbura. Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, 276p.

Brooker S. and Michael E. (2000). The potential of geographical information systems and remote sensing in the epidemiology and control of human helminth infections. *Adv. Parasitol.* 47:245-288.

Brooker S., Archie C., Clements A. and Bundy D. (2006). Global epidemiology, ecology and control of soil-transmitted helminth infections. *Adv. Parasitol.* 62:221-261.

Bundy D.A, Cooper E.S, Thompson D.E. (1995)*Trans. R.Soc.Trop Med Hyg.* [1995] 18:987.

Ekpo U.F., Odoemene S.N., Mafiana C.F., Sam-Wobo S.O. (2008). Helminthiasis and hygiene conditions of schools in Ikenne, Ogun State, Nigeria. *PLoS Negl Trop Dis*; 2: 146.

Girum T. (2005). The prevalence of intestinal helminthic infections and association risk factors among schoolchildren in Babile town, eastern Ethiopia. *Ethio. J. Health Dev.* 19:140-147.

Idowu O.A. and Rowland S.A. (2006). Oral faecal parasites and personal hygiene of food handlers in Abeokuta, Nigeria. *African Journal of Health Science*; 6:160-164.

Ilunga, L., 1989. Aspects physiques et humains de la zone de Kadutu, in *Géographie et aménagement dans l'Afrique des Grands Lac*. Presses Univ de Bordeaux. 4p.

Institut Provincial des statistiques, 2013. Rapport annuel 2012. Journal officiel.

Muhigwa, J., 1999. Analyse des perturbations dans le régime pluviométrique du Sud-Kivu durant les 50 dernières années. *Mus. roy. Afr. centr., Dépt. Géol. Min., Rapp. Ann.* 1997-1998. 9p.

Nkansah A., 2009. Management of faecal sludge in the urban areas of low-income countries: a case of Tamale, Ghana (Doctoral dissertation, © Andrews Nkansah), 342 p.

Odu N.N., Okonko I.O., Erhi O. (2011). Study of neglected tropical diseases (NTDs): Gastro Intestinal Helminthes among school children in Port Harcourt, Rivers State, Nigeria. Report and Opinion; 3(9): 6-16.

Odu N.N., Elechi V.I., Okonko I.O. (2013). Prevalence of Intestinal Helminthes Infection among Primary School Children in Urban and Semi-Urban Areas in Port Harcourt, Rivers State, Nigeria. World Rural Observations; 5(1): 52-61.

Okonko I.O., Soley F.A., Amusan T.A., Mejeha O.K., Babalola E.T., Adekolurejo O.A. (2009). Detection and Prevalence Intestinal Parasites in Patients in Abeokuta, South-Western, Nigeria World Applied Science Journal; 7(9): 1183-1187.

Omorodion A.O., Nmorsi O.P.G., Isaac C., Umukoro D.O., Akhile A.O. (2012). Distribution of intestinal parasites among school-age children in Delta and Edo States of Nigeria. PUJ; 5(2): 1-6.

OMS et UNICEF (2000). Rapport sur l'évaluation de la situation mondiale de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement en 2000. Bibliothèque de l'OMS, Genève, Suisse, 80p.

Rousset J.J. (1993). Copro-parasitologie pratique. Editions ESTEM, Paris, 89p.

Still D. A. and Foxon K. (2012). Tackling the challenges of full pit. Volume 1: Understanding sludge accumulation in VIPs and strategies for emptying full pits. Water research commission, Pretoria, South Africa, 156p.

Teklemariam A., Dejenie T. and Tomass Z. (2014). Infection prevalence of intestinal helminths and associated risk factors among schoolchildren in selected kebeles of Enderta district, Tigray, Northern Ethiopia. Journal of Parasitology and Vector Biology; Vol. 6(11), pp 166-173.

Tilley E., Lüthi C., Morel A., Zurbrügg C. and Schertenleib R. (2008). Compendium of sanitation systems and technologies. Eawag. Dübendorf, Switzerland, 158p.

Uhwo A.C., Odikamnor O.O., Ani O.C. (2011). The incidence of intestinal nematodes in primary school children in Ezza North Local Government Area, Ebonyi State Nigeria. Adv Appl Sci Res; 2 (5): 257-262.

WHO (2010). Neglected tropical diseases. PCT Databank. World Health Organization, Geneva 2010.

CHAPITRE VII. CARACTERISATION DES EAUX RESIDUAIRES INDUSTRIELLES (ERI) DANS LA VILLE DE BUKAVU

7.1 Introduction

Le présent chapitre comprend le fruit de nos recherches en matière de la caractérisation des pollutions industrielles dans la ville de Bukavu en RD Congo. Deux types d'industries ont fait l'objet de ces recherches: une brasserie et une fabrique de médicaments antipaludiques (Pharmakina). Outre l'introduction et la conclusion, ce chapitre va d'abord se consacrer à la partie brassicole (la caractérisation des pollutions brassicoles). Il abordera successivement (i) les considérations générales de l'industrie brassicole, (ii) la démarche de faisabilité d'un programme de bilan d'eau dans une industrie brassicole, (iii) la caractérisation des pollutions de la Bralima/Bukavu et les rendements épuratoires de la *Step* (SBR) de la Bralima/Bukavu. Après les effluents brassicoles, le chapitre présentera sommairement les effluents pharmaceutiques avant d'aborder les matériels et méthodes ayant rendu cette partie du travail effective. Ensuite seront présentés et discutés successivement les résultats relatifs à la caractérisation des effluents brassicoles, aux rendements épuratoires de la *Step* de la Bralima/Bukavu, et à la caractérisation des effluents pharmaceutiques.

7.2 Effluents brassicoles

A l'instar d'autres industries du domaine agro-alimentaire, une brasserie requiert d'importantes quantités d'eau pour l'élaboration de ses produits finis qui peuvent comprendre la bière et/ou les boissons rafraîchissantes selon qu'elle comprend uniquement l'unité de production de la bière et/ou l'unité de production des boissons rafraîchissantes. Dans la plupart des brasseries en pays de développement en général et en RDC en particulier, les industries brassicoles produisent ces deux types de boissons (bière et boissons rafraîchissantes). De plus, la bière étant la cinquième boisson la plus consommée au monde (Fillaudeau *et al.*, 2006), son industrie constitue non seulement une importante source génératrice de devises pour un pays, mais aussi une source de pollutions des eaux; étudier cette industrie est donc une évidence.

7.2.1 Production dans une industrie brassicole

Dans une industrie brassicole, la production peut comprendre 3 volets distincts: le brassage, la siroperie et l'embouteillage. Selon l'importance de la brasserie, la production peut se faire en continu ou suivant un horaire varié pendant les mois ou l'année. Il est crucial de connaître le nombre de jours du travail afin de déterminer la production journalière dans une industrie. Dans cet élan de recherche, on peut collectionner les relevés de production passés et actuels pour dégager la dynamique de production de la firme et son importance aussi bien sur le plan économique que sur le plan environnemental. L'observation des relevés de production conduit à la détermination de la capacité de production maximale ou à la hauteur de production d'une échéance donnée par rapport à la capacité maximale de

production de l'usine. De cette façon, un profil sera dégagé pour savoir si l'usine fonctionne de manière optimale ou pas et sur quels facteurs agir pour optimiser les recettes en cas de sous-production.

La figure 42 montre les relevés de productions de boissons (bière et boissons gazeuses) par une usine brassicole en RDC que nous allons nommer Brasserie 1 pour nous conformer à certaines convenances de protection de la compagnie, telles que partagées avec Mr Louis Vandevenne, directeur de CEBEDEAU en Belgique.

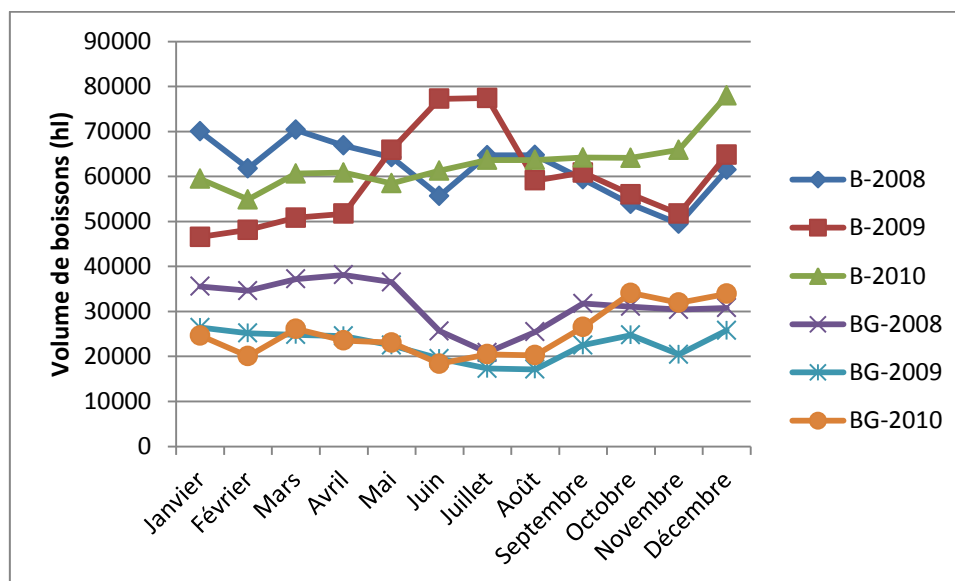


Figure 42. Profils de productions mensuelles de la Brasserie 1 de 2008 à 2010. B signifie bière (boisson alcoolisée) et BG symbolise les boissons gazeuses.

La capacité de production maximale étant de 1100000 hl de bière et de 400000 hl de boissons gazeuses par an, la Brasserie 1 fonctionne à 68% et 75% de sa production en bière et boissons gazeuses. Du volume total de boissons produit, les boissons gazeuses comprendraient environ 30%, et le pourcentage élevé de production étant affiché en 2008. Il se dégage de la figure 42 des fluctuations caractérisant la production de bière; pareil comportement ne se prête pas bien à la conception et l'exploitation d'une filière de traitement d'eaux usées.

Au sein d'une compagnie brassicole, la détermination de la production, journalière ou annuelle, renvoie directement à la notion de l'utilisation de l'eau, vu que celle-ci constitue une ressource primordiale et soumise à un coût. C'est ainsi qu'une usine brassicole peut avoir sa propre source de captage d'eau ou peut utiliser l'eau de la régie nationale ou communale de distribution. En fonction de types d'activités brassicoles (production, lavage des sols ou bouteilles ou casiers, nettoyage des cuves ou tanks ou filtres de bières, etc.), l'eau peut ou ne pas requérir des traitements supplémentaires. Ainsi DEGREMONT (2005) souligne-t-il qu'au sein des groupes agro-alimentaires comme les industries brassicoles, l'eau fait l'objet des recommandations de plus en plus rigoureuses, et, dans la plupart des cas, en lien avec le type de produits à élaborer. En effet, on peut noter, à titre illustratif, que l'eau

destinée à la production, ne doit pas contenir les bicarbonates qui précipiteraient en brassage, étant donné que le malt est très riche en phosphates de calcium. En plus, elle doit avoir une concentration en magnésium (Mg) aussi faible que possible (inférieure à 10 mg/l), un rapport SO_4/Cl supérieur à 1 pour donner du moelleux à la bière, une concentration en Na inférieure à 100 mg/l pour minimiser l'âcreté et des valeurs inférieures à 50 mg/l et 1 mg/l respectivement pour les nitrates et les nitrites.

Par conséquent, le caractère varié de l'utilisation de l'eau dans l'industrie brassicole conduit à la notion de la consommation spécifique de l'eau. C'est pourquoi dans ce chapitre, on s'attardera beaucoup plus sur la littérature qui caractérise la quantité de l'eau utilisée pour la production d'une unité (en volume) de bière. DEGREMONT (2005) signale que la quantité de l'eau consommée pour 1 hl de bière produite, varie de 4 à 7 hl dont 1,5 hl pour la préparation de la bière, 1,5 à 3 hl pour le lavage et 1 à 2 hl pour le refroidissement.

En parallèle, Fillaudeau *et al.* (2006) rapportent que 3 à 12 l d'eau sont consommés pour chaque litre de bière produite; alors que Braeken *et al.* (2004) ainsi que Kanagachandran *et al.* (2006) mentionnent respectivement une consommation de 4 à 10 l et 3 à 10 l d'eau que pour chaque litre de bière produite. Quant à Shao *et al.* (2007), ils font mention de 10 à 20 m³ d'eau consommée pour 1 m³ de bière produite, ce qui correspond à un rapport de 10 à 20 l d'eau utilisée pour 1 l de bière produite. Bien entendu, cette consommation spécifique dépend notamment du niveau des équipements en place.

L'analyse de ces différentes valeurs montre que la gamme prônée par DEGREMONT (2005) présente une bonne médiane et, par conséquent, limite le degré des pollutions. Par contre, les valeurs de Shao *et al.* (2007) ne semblent pas résulter d'une bonne gestion d'effluents et appuie la thèse selon laquelle la Chine est parmi les pays qui semblent être insensibles aux exercices de la protection de l'environnement mais qui misent beaucoup plus sur une puissance économique et un développement accru alors que l'on peut marier les 2 tendances pour une harmonie économique, sociale et environnementale, dans le souci d'un développement durable.

A l'instar des pays dits développés, beaucoup d'autres pays qualifiés d'émergents ou en développement, sont parvenus à maîtriser les statistiques de la consommation de l'eau dans le secteur brassicole. Parmi ces pays, on peut citer le Zimbabwe. En RD. Congo, au contraire, les données ne sont pas disponibles en ce qui concerne cette utilisation. Néanmoins, on peut trouver des relevés statistiques au niveau de chaque usine. C'est le cas de la Brasserie 1 qui a consommé en 2009, un volume de 756828 m³ d'eau pour une production de boissons, toutes boissons confondues, évaluée à 990986 hl, soit une consommation spécifique de 7,64 l/l, alors qu'elle a affiché en 2010, une consommation spécifique de 8 l/l. De tels résultats indiquent un gaspillage d'eau, par conséquent une érosion financière que la compagnie éviterait si elle pouvait miser sur une consommation spécifique autour de 6 l/l, ce qui lui permettrait de faire des économies substantielles et pouvoir bien investir dans le secteur du traitement de ces eaux usées.

Pour minimiser les dépenses liées à la consommation, une usine peut utiliser, selon les cas, à la fois l'eau de Régie, de forage et de récupération. Pour la Brasserie 1, l'eau du forage intervient au niveau des laveuses et des filtres de bière (nettoyage), tandis que l'eau de Régie peut être utilisée brute ou après traitement. La partie brute non traitée, intervient dans le rinçage final des laveuses, alimente les chaudières après adoucissement, le soutirage ainsi que le réseau incendie; elle peut aussi subir le refroidissement et être stockée sous forme de glace, servant alors au refroidissement du moût, du sirop ou de l'eau traitée. La partie traitée peut servir au coupage (dilution de la bière), à la dilution du sirop ou au niveau des filtres de bière. Un système de récupération d'eaux peu souillées peut être mis en place afin d'exécuter généralement les travaux de nettoyage (sols, casiers, etc.).

Pour maîtriser les flux des pollutions, il s'avère avantageux pour une usine de disposer d'un nombre suffisant de compteurs afin de relever les différentes consommations d'eau. En ce qui concerne les postes à grande utilisation d'eau, on peut retenir les tours aéroréfrigérantes, les laveuses, les pompes à vide, les installations et locaux soumis au nettoyage, etc. Parallèlement, il convient de réaliser également plusieurs mesures de débit de manière régulière, sur tous les exutoires et postes de rejet particuliers. De cette façon, il sera aisé de déterminer le bilan de consommation et de rejet d'eau, notion essentielle tant à l'amélioration de l'image environnementale d'une industrie comme une brasserie, qu'à son équilibre financier et à la conformité aux dispositions légales nationales en la matière. L'établissement régulier du bilan permettra d'impulser le choix des pratiques responsables devant concourir à la réduction possible de la quantité de l'eau à utiliser.

7.2.2 Gestion des déchets dans une industrie brassicole

Dans une brasserie ou toute industrie similaire, la fabrication des boissons (ou produits) s'accompagne toujours de la production des sous-produits à rejeter. La gestion de ces déchets devra constituer une préoccupation primordiale et une fonction intégrée à l'entreprise. Ainsi, comme le souligne Moletta (2002), l'étude de la problématique des déchets dans une entreprise permet de cerner les productions effectives ou potentielles des déchets en fonction des enjeux ou contraintes internes et conduit à déterminer les frontières de la première phase de la gestion des déchets (la gestion interne). Les éléments externes, notamment la politique et les dispositions réglementaires, les modalités financières, les organisations des filières et offres des services, sont déterminants dans la problématique de la gestion des déchets dans une industrie. Pour une bonne gestion en matière d'assainissement, l'élaboration ou la mise en œuvre au sein de l'entreprise, du programme de la gestion des déchets doivent se baser sur la connaissance des ressorts propres de la filière des déchets, qu'il conviendra d'analyser face aux contraintes et enjeux qui se présentent.

Dan ce cadre, il conviendra de faire la promotion de la récupération ou de la revalorisation des déchets dans le domaine industriel (recyclage des matières et matériaux), énergétique (biogaz comme supplément en énergie pour l'entreprise ou une frange de la population

(communauté) ou agronomique (compost pour amendement des sols assujettis à l'agriculture, alimentation du bétail, etc.).

Ainsi, les drêches et levures peuvent être rassemblés et intervenir dans l'alimentation du bétail, alors que les effluents liquides sont généralement collectés par un réseau de canalisations ouvertes ou fermées enterrées, évacuant diverses eaux usées: les eaux des sanitaires, de lavage et nettoyage, des ateliers et garage, de processus de production ou même des eaux parasites. S'ils sont suffisamment concentrés, ces effluents peuvent subir une digestion anaérobie et produire du biogaz qui peut être utilisé comme source d'énergie par l'entreprise ou les communautés riveraines. Cette façon de procéder conduira à reconsidérer les déchets à leur titre valeur comme de la matière première et non plus comme quelque chose de gênant ou sans valeur ou d'encombrant dont il faut se débarrasser et qui consomme inutilement de l'argent.

De manière pratique, Moletta (2002) dit qu'en brasserie, les sous-produits à valoriser en alimentation humaine sont principalement les pectines et levures, une fois déshydratées. Ainsi, ces pectines qui sont des polymères des acides D-galacturoniques en liaison 1 - 4 et partiellement estérifiés par du méthanol, subissent des traitements particuliers (extraction en milieu acide dilué à chaud, lavage du précipité, séchage et broyage) pour donner la pectine sous forme de poudre. Les pectines peuvent servir dans les grandes branches de l'industrie agroalimentaire et principalement dans la fabrication des gelées et confitures.

Quant aux levures, sous forme autolysée, elles peuvent être ajoutées aux aliments pour augmenter les qualités nutritives et aromatisantes. Par contre, le kieselguhr usagé peut être valorisé dans la fabrication des produits phytosanitaires, peintures, vernis, ciment et plâtres. Au delà de ces revalorisations, plusieurs autres types d'utilisations peuvent se faire pour l'industrie alimentaire, pharmaceutique ou chimique (Moletta, 2002).

7.2.3 Démarche de faisabilité d'un programme de bilan d'eau

Réaliser un bilan en eau constitue une pratique par excellence, de vérification de l'équilibre entre la quantité totale de l'eau qui entre dans l'usine et les sommes de consommations dans différents postes de travail (tours aéroréfrigérantes, laveuses, circuits de production, etc.). Le positionnement des compteurs ainsi que le bon état de leur fonctionnement sont des atouts majeurs sur lesquels on peut miser pour réaliser un meilleur suivi d'eau et un meilleur bilan d'eau par voie de conséquence.

7.2.3.1 Mesures de débit

La réalisation du bilan exige une série de mesures de débit sur les différents exutoires et collecteurs qui drainent les effluents industriels. Etant donné que le site industriel est toujours sécurisé, l'installation des débitmètres (moyennant un programme rigoureux d'entretien) pour réaliser des mesures automatiques de manière permanente, est une pratique à encourager afin de maîtriser le profil de la gestion de l'eau. Sinon, il est demandé

de multiplier les fréquences des mesures de débit si la compagnie opte pour une débitmétrie non automatique.

Dans cette optique, plusieurs méthodes de débitmétrie peuvent être réalisées mais nous pensons que la méthode par traceur est à conseiller, non seulement parce qu'elle donne de bons résultats mais aussi parce que l'on peut utiliser un traceur simple et bon marché qu'est le sel, au vu de multiples répétitions de mesures à réaliser. On peut également recommander l'utilisation du bleu de méthylène comme traceur, mais l'emploi de la rhodamine qui donne de très bons résultats ne semble pas être conseillée pour une échelle industrielle, à cause de son coût. Le traceur, pour des raisons évidentes, ne peut servir que pour mesurer les débits des rejets.

Cela étant, les postes à grande consommation d'eau sont les zones où ces mesures devront se faire régulièrement, notamment le poste de lavage des casiers, où se déroulent les activités de pré-rinçage et lavage de casiers, ainsi que du nettoyage des sols; la salle de brassage où l'eau est beaucoup utilisée surtout dans le nettoyage de filtre presse et le nettoyage des sols; et autres (pompes à vide, tours aéroréfrigérantes, chaudières, etc.).

7.2.3.2 Mise en œuvre du bilan

Pour réaliser une étude de bilan d'eau dans une brasserie, il est utile de tenir compte de toutes les formes des émissions à côté des effluents liquides. L'évaporation intervient au niveau du brassage, des condenseurs et du circuit vapeur. Par contre, outre les rejets liquides déjà cités, on trouve des émissions d'eau associées aux levures, aux drèches ainsi que dans le trub et kieselguhr.

Ainsi, la mise en œuvre du bilan comprend un certain nombre de rubriques, dont (i) la consommation globale de l'eau: en tenant compte de toutes les sources d'approvisionnement en eau, déterminer le volume total de l'eau utilisée au cours d'une période (mois, année, etc.). Elle est présentée généralement soit en hl/an (m^3/an) ou alors en consommation spécifique (l/l); (ii) la production des produits finis: elle est écrite en hl/an ou en m^3/an de produits finis fabriqués; (iii) les rejets liquides: la majorité de l'eau utilisée à la brasserie est rejetée sous forme de déchets liquides; (iv) les vapeurs: une certaine fraction d'eau est perdue sous forme de vapeurs, produites au niveau des condenseurs, du circuit de chauffage et du brassage; (v) les sous-produits: une certaine quantité d'eau se trouve liée aux sous-produits, dont les drèches.

En RDC, un rapport (Tableau 57) de la Brasserie 1 sur le bilan consommation/rejets a été établi sur base des relevés compteurs, des mesures à l'intérieur de la brasserie, des mesures sur les collecteurs et des bilans. Il en découle une consommation annuelle de 845 124 m^3 d'eau, soit une consommation spécifique de 7,9 l/l que l'on peut répartir à 5,6 l/l, 1,9 l/l et 0,4 l/l respectivement pour l'eau de Régie, de forage et d'appoint Régie. Outre le produit fabriqué, la consommation spécifique de l'eau est de 6,8 l/l, ce qui est beaucoup, l'idéal serait un plage de 6 à 6,5 l/l, soit 6,3 l/l (Vandevenne).

Les émissions les plus importantes proviennent des laveuses, du circuit de nettoyage et de la purge des aéroréfrigérants qui forment 77,5 % des rejets. Le ratio rejet/consommation étant très élevé et évalué à 0,80, indique des usages non économes d'eau. Des possibilités de réduction de la consommation spécifique à 6,3 l/l existent et s'imposent en vue de la conformité aux exigences liées à la protection de la santé publique et au respect environnemental. La synthèse du bilan détaillé affiche : 1 l/l (production), 6,31 l/l (rejets), 0,57 l/l (évaporation) et 0,10 l/l (sous-produits).

7.2.4 Etablissement de flux de pollution brassicole

En entreprenant une étude de pollution, on procède à des mesures de débits et de concentrations. Il est plus commode et utile de présenter les résultats en termes de charge de pollutions qu'en concentrations. Pour obtenir les charges polluantes, on associe tout simplement les valeurs des débits mesurés aux concentrations correspondantes mesurées. Ainsi les résultats sont-ils exprimés en masse de pollution (kg) par unité de temps (année, mois, jour, etc.). Généralement pour ce genre d'études, les mesures des concentrations portent sur les paramètres comme la DCO, la DBO₅, les MES, l'azote total, etc. Les rapports entre les valeurs de ces différents paramètres peuvent beaucoup renseigner sur la nature des pollutions et prédire par rapport aux différentes filières qui conviendraient à la gestion des pollutions dont il s'agit.

En se référant aux résultats d'une étude de détermination des charges polluantes de la Brasserie 1 en 2010, on trouve une charge globale de 9500 kg de DCO/jour. En rapportant cette charge à la valeur d'équivalent-habitant appliqué au Burundi (Nsavyimana, 2014), soit $117,08 \text{ g.EH}^{-1}.\text{j}^{-1}$, il s'en déduit un nombre de 81141 EH-DCO, et une charge spécifique de 2,69 kg DCO/hl de produits finis fabriqués, toutes boissons confondues. Etablie à partir de la production journalière de produits finis évaluée à 3530 hl, cette charge spécifique s'avère élevée à la lumière de la littérature selon laquelle les valeurs normales des charges spécifiques fluctuent entre 1,5 et 2 kg DCO/hl en brasserie, centrées sur 0,5 kg DCO/hl en limonaderie.

Cela étant, la charge normale de la Brasserie 1 fluctuerait entre 1,2 à 1,6 kg DCO/hl. Concernant la charge en MES dans le cadre dudit bilan, il a été obtenu une valeur de 2746 kg MES/jour, ce qui correspond à 44169 EH-MES. Il s'en dégage une charge spécifique de 0,77 kg MES/hl, ce qui paraît très élevé par rapport à la littérature qui situe les valeurs normales entre 0,2 et 0,4 kg MES/hl. L'étude a suggéré la réduction de ces charges par une série de recommandations, parmi lesquelles: réduction des freintes; récupération des levures jusqu'à 90 % et leur évacuation avec la drèche; décantation du kieselguhr pour l'écarter du flux d'eau. Dans le même ordre d'idée, pour atteindre des résultats satisfaisants, l'obligation s'impose d'une meilleure gestion de drèches tombées au sol, un bon nettoyage (mécanique) de la zone de chargement du sucre, une bonne gestion du contenu des bouteilles écartées ainsi que la gestion de la pollution domestique.

Tableau 57. Illustration du bilan (consommations/rejets) dans une brasserie (Brasserie 1) en RDC au cours de l'année 2010

Consommation								Rejets							
Réseau		Distribution			Poste			Eaux usées		Evaporation		Sous-produits		Produits	
m³/an		m³/an l/l			m³/an l/l			m³/an l/l		m³/an l/l		m³/an l/l		m³/an l/l	
Régie	601286	Divers ⁽¹⁾	584686	5,5	Divers ⁽²⁾	584686	5,5	457366	4,3	11764	0,1	8 950	0,08	106606	1
(5,6 l/l)															
Forage	200936	Tours	96360	0,9	Tours	96360	0,9	48180	0,4	48180	0,5	-	-	-	-
(1,9 l/l)		aéroréfri.			aéroréfri.										
Appoint	42902	Laveuses	147640	1,4	Laveuses	147640	1,4	147640	1,4	-	-	-	-	-	-
(0,4 l/l)															
Total	845124	-	828686	7,8	-	828686	7,8	653186	6,1	59944	0,6	8950	0,1	106606	1,0
(7,9 l/l)															

Divers⁽¹⁾ : Bouteillerie, Salle des machines, Nappe et filtration, Brassage, Eau glacée, Sica et Silo;

Divers⁽²⁾ : Laveuse, CIPs, Bandes transport, Purge, Evaporation, Filtration, Garde, Produits, Sous-produits, Rejets, Pompes à vide, Silo

7.3 Effluents pharmaceutiques

De nos jours, la littérature atteste la présence d'une grande variété de produits pharmaceutiques dans l'environnement. Cette présence est liée à la consommation excessive des produits pharmaceutiques, qui, excrétés à l'état métabolisé ou non, finissent leur course dans le réseau d'assainissement. Ainsi pouvons-nous noter les activités des pharmacies, laboratoires et des structures agro-pastorales comme les plus réputées responsables de la dissémination des molécules pharmaceutiques dans l'environnement. Au vu du pouvoir que possèdent les médicaments et leurs dérivés sur l'environnement et sur les vivants exposés, il est aussi crucial d'évaluer les processus de la fabrication des médicaments, en commençant par les différents produits végétaux utilisés jusqu'à la synthèse des médicaments. En effet, les activités de la production des médicaments emploient des quantités considérables des bases et acides pour l'extraction de différents principes actifs, et libèrent des sous-produits dans l'environnement, dont les effets peuvent être néfastes.

7.4 Matériel et méthodes

7.4.1 Présentation de la Bralima/Bukavu et Pharmakina

7.4.1.1 Bralima/Bukavu

La Brasserie, Limonaderie et Malterie, BRALIMA en sigle, est une société à responsabilité limitée. Il s'agit d'une filière de la multinationale Heineken (Hollande) et de la Compagnie Industrielle de la Boisson, en sigle CIB. La direction provinciale du Kivu, dite BRALIMA/Bukavu, est localisée au Sud de la ville, à plus ou moins quatre kilomètres du centre ville sur la route qui mène à Goma et qui borde le lac Kivu. C'est une société de droit congolais ayant pour numéro d'enregistrement au registre de commerce n° 1230 et d'identification nationale A04956x. Elle a son siège à Kinshasa précisément dans la commune de Barumbu au n° 919, avenue du flambeau.

La Bralima/Bukavu fabrique une gamme de boissons à savoir les bières « *Primus, Mutzig, Turbo-King* » et quelques boissons gazeuses notamment « *Fanta orange, Fanta citron, Coca-cola, Sprite, Vital'o, Schweppess Tonic, Schweppess Soda, etc.* ». Elle dessert de ses produits toute la partie orientale du pays (Nord-Kivu et une partie d'Ituri) et le Nord de la province du Katanga (Kalemie). A part les employés, dont le nombre est estimé à environ 500, la Bralima/Bukavu utilise beaucoup les services intérimaires pour diverses tâches (manutention, entretien, restauration, service clientèle et dépôt relais, garde, etc.). Partant de cette observation, il n'est pas étonnant d'évaluer le nombre des visiteurs ainsi que les employés à 1000 personnes par jour approximativement dans son enceinte.

L'observation de la figure 43 montre les fluctuations caractérisant les ventes de la Bralima/Bukavu, et qui affichent des courbes ascendantes partant de l'année 2006 à 2012.

En fait, les années 2006 sont celles où s'est opérée la réunification du pays, qui était morcelé en plusieurs gouvernements; et de manière progressive, le redressement économique s'est opéré et c'est ce qui fait que 2012 affiche des moyennes élevées de productions quand bien même la fin de cette année a connu des diminutions de productions liées à la forte concurrence des produits de Brasimba nouvellement installée à proximité de Bukavu (Beni-Nord-Kivu).

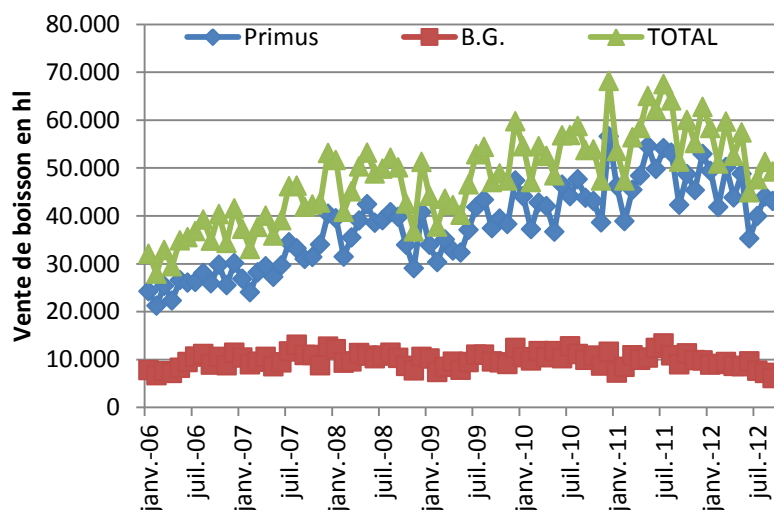


Figure 43. Relevés évolutifs de volumes de boissons vendus par la Bralima/Bukavu de 2006 à 2012

7.4.1.2 Pharmakina

La Pharmakina est une société agro-industrielle et pharmaceutique de droit congolais, dont le siège social est basé à Bukavu. Issue de Boehringer Mannheim, une multinationale allemande à longue expérience de la quinine depuis 1856, la Pharmakina trouve ses racines dans la coopérative des planteurs qui ont créé l'usine manufacturière de la quinine (Congo-Kina) en 1942. En collaboration avec le groupe belgo-allemand, cette dernière revêt le statut d'une société congolaise par action à responsabilité limitée et dénommée Pharmakina en 1956. La société allemande Boehringer Mannheim reprend la totalité des actions en 1961, et en 1997, elle la cède au groupe suisse Hoffman La Roche. Juste une année après, Roche va s'en débarrasser et deux de ses anciens employés, MM. Horst Gebbers et Etienne Erny, vont la racheter et en devenir propriétaires. D'importants investissements sont requis pour compléter la chaîne de production jusqu'au produit fini, la société est considérée comme le plus grand employeur du Sud-Kivu, avec environ 1 910 travailleurs répartis dans différents sites. La Pharmakina a été la première structure en Afrique qui produit la quinine en partant des écorces de quinquina et demeure l'un des gros producteurs des sels de quinine et de toute une gamme de médicaments en comprimés ou en sirop ou encore en solutions injectables, destinés à combattre le paludisme, qui est l'une des maladies les plus mortelles en Afrique subsaharienne.

Avant 1999, elle exportait le produit semi-fini (Totaquina) à Mannheim pour sa transformation en produits finis. Ainsi, après une transformation et une analyse rigoureuses dans ses laboratoires, les médicaments sont alors mis sur le marché et sont vendus sous forme de comprimés, liquides et injectables. S'engageant dans un programme de diversification de ses produits, la Pharmakina produit des anti-rétroviraux grâce à l'appui de la Coopération Technique Allemande aussi connue sous l'appellation de la GTZ (actuelle Giz). La production des anti-rétroviraux proposés sous la marque Afrivir®, a été inaugurée le 11 juillet 2005. Aussi, elle vient de planter 400 hectares de *Prunus africana* dont l'écorce servira à extraire les alcaloïdes pour la production d'un nouveau produit pour soigner la prostate. Les rapports établis par la Pharmakina (com.pers.) font état des productions mensuelles de bisulfate de quinine (17500 kg), sulfate cru (25000 kg), sulfate technique (30000 kg) et totaquina (10000 kg). De ces produits, la Pharmakina produit mensuellement 5000 kg de sulfate pharma et 3150 kg de chlorhydrate de quinine comme produits finis exportables. Ces chiffres sont en adéquation avec ceux mentionnés par diverses sources, qui font état d'une production de 100 tonnes de sels de quinine par la Pharmakina à partir de 2400 tonnes d'écorces de quinquina (*Cinchona ledgeriana*) traitées.

7.4.2 Méthodologie

7.4.2.1 Mesures de débit et échantillonnage

Etant donné que les deux industries (Bralima/Bukavu et Pharmakina) (Figure 44) appartiennent à 2 domaines différents (agro-alimentaire et phytochimique) et fonctionnent respectivement en mode quasi-continu et discontinu, 2 protocoles différents ont été suivis pour mesurer les débits et obtenir les échantillons pondérés.

7.4.2.1.1 Effluents brassicoles

Pour faire face à la forte demande de ses produits, la **Bralima/Bukavu** brasse en continu (Figure 44), moyennant 3 pauses, du dimanche soir au samedi midi, totalisant ainsi 5,5 jours de manière hebdomadaire. Les autres activités de l'usine, avec 2 ou 3 pauses selon les cas, se déroulent du lundi matin au samedi matin alors que les journées des dimanches sont généralement consacrés aux activités d'entretien. En somme, la production se fait pendant 6 jours de la semaine, soit 312 jours par an. Lorsque l'on considère les 10 jours fériés en vigueur en RDC, on aboutit à 302 jours de production par an à la Bralima/Bukavu, correspondant à 25 jours par mois. C'est ce nombre de jours de production qui interviendra le cas échéant, dans les calculs de pollution de cette partie de la recherche. Consciente de son statut de grand consommateur d'eau à l'instar des autres structures du secteur agro-alimentaire, et soucieuse de son image environnementale, la Bralima/Bukavu s'est dotée d'une Step de type SBR (Figure 45). En guise de rappel, la Step de la Bralima/Bukavu comprend, outre les autres ouvrages de prétraitement, un décanteur lamellaire (Lamella separator), un bassin de calamité (Calamity basin), un égalisateur; il comprend pour la suite,

deux SBR en parallèle de 1100 m³ de volume pour chacun. La Step a été dimensionnée pour traiter les effluents et libérer les effluents traités (normes de rejet) comme c'est consigné dans le tableau 58.

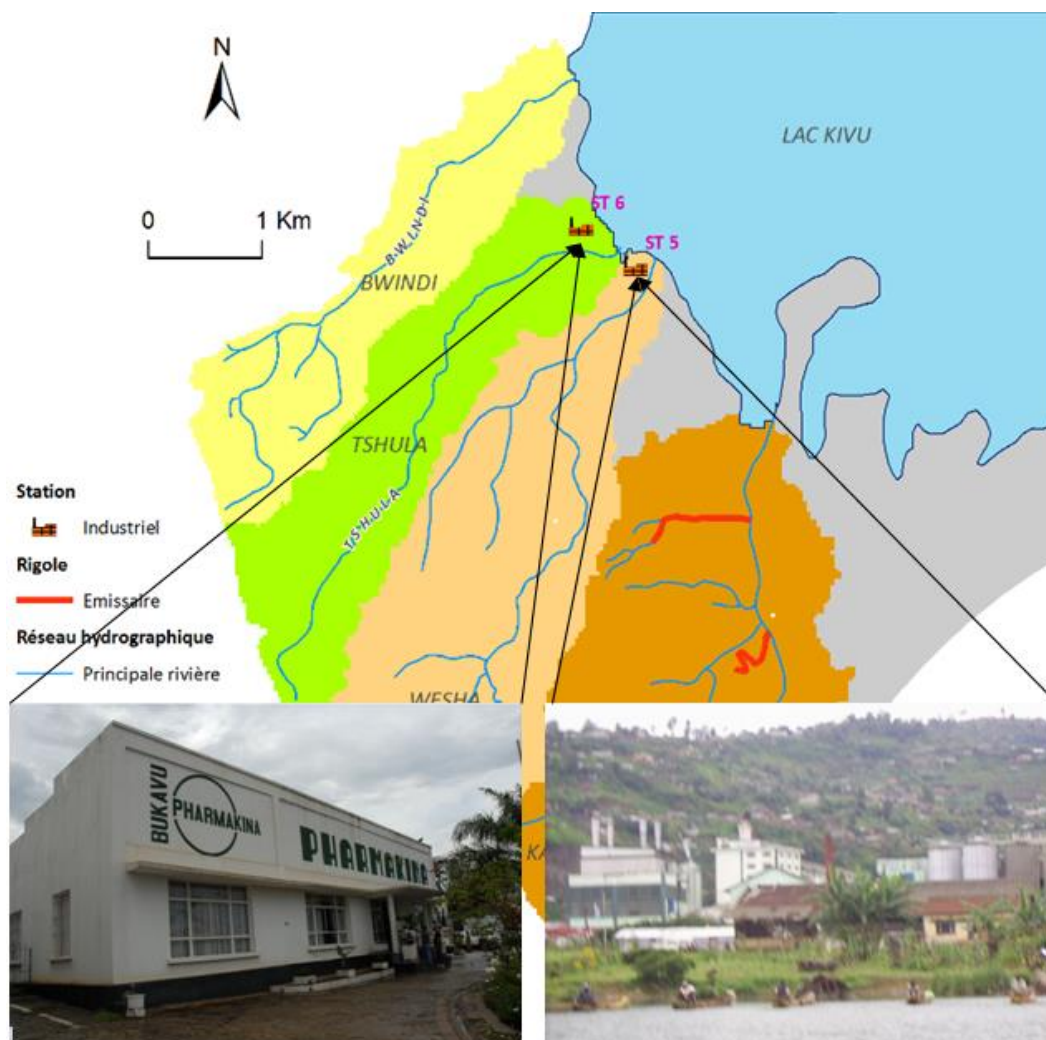


Figure 44. Vues de quelques bâtiments de la Pharmakina (ST 6) et de la Bralima (ST 5)

Tableau 58. Caractéristiques de la Step de la Bralima/Bukavu

	Débit (m ³ /j)	DCO (mg/l)	DCO (kg/j)	NT (mg/l)	MES (mg/l)	pH	T (°C)
Influent	1180	3800	4484	<10	<500	2-12	33-39
Normes	1180	<500	-	<5	<300	6-9	-

Pour procéder aux mesures de débits et divers prélèvements d'eaux usées, la Bralima/Bukavu a installé des capteurs (un débitmètre et un échantillonneur automatique) en aval de son site de production, qui est séparé d'une dizaine de mètres de sa station d'épuration, ainsi qu'en aval de la Step avant que les effluents traités ne rejoignent le lac. Ainsi, les débits ont été obtenus automatiquement par les débitmètres de marque Proline

Promag 50P. Afin d'obtenir les échantillons des effluents brassicoles en parallèle, la Bralima/Bukavu utilise les préleveurs CSF48/CSP44, qui, pilotés par rapport au débit, ont permis de constituer des échantillons moyens de 24 heures, sur lesquels les analyses ont porté.

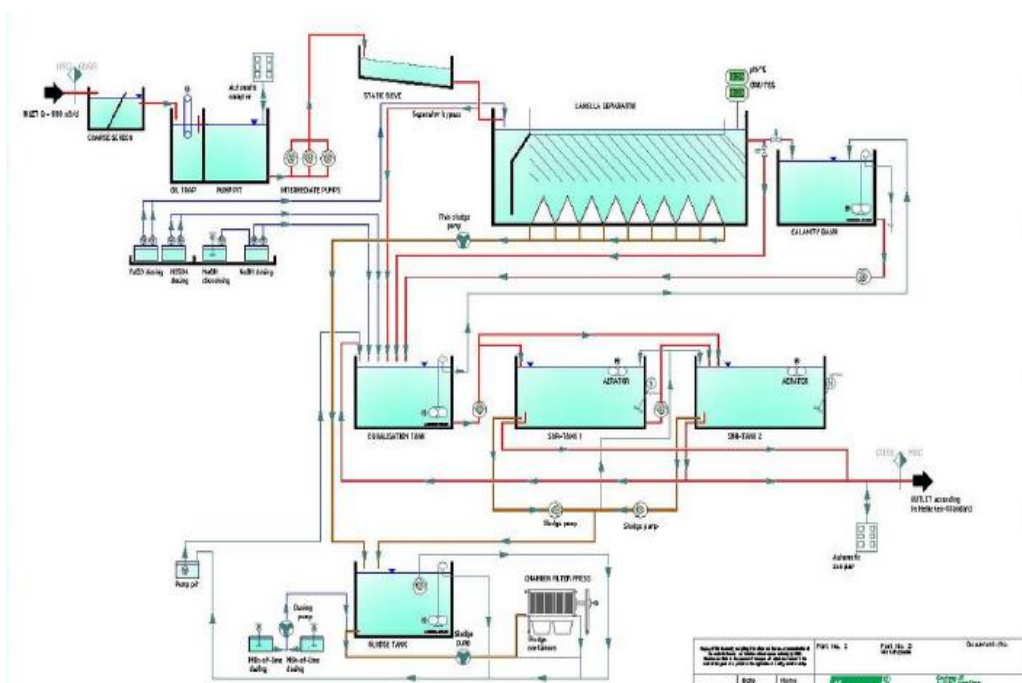


Figure 45. Schéma de la Step de la Bralima/Bukavu

Rappelons que nos campagnes de recherche en brasserie se sont effectuées en 2 périodes: de juin à juillet 2013 pendant 36 jours et de janvier à février 2014 pendant 26 jours.

7.4.2.1.2 Effluents pharmaceutiques

En ce qui concerne les effluents pharmaceutiques, le protocole mis en œuvre a été beaucoup plus contraignant et pesant. De prime abord, il s'est avéré indispensable de déterminer le nombre des jours de production. A cet effet, il sied de rappeler que les activités à la Pharmakina se font pendant 5 jours de la semaine et sont arrêtées le weekend, pour reprendre le lundi. En multipliant les 5 jours par 52 (nombre de semaines par an), on obtient 260 jours de productions; lorsqu'on retranche les 10 jours fériés reconnus par la législation congolaise, on obtient 250 jours de production à la Pharmakina au cours d'une année, ce qui correspond à 21 jours de production par mois. Nos calculs se feront en fonction de ce nombre de jours de production, et à défaut d'avoir les productions mensuelles respectives de la Pharmakina, on se basera sur les valeurs des productions nous communiquées et reprises à la partie "Présentation de la Pharmakina" pour calculer les pollutions spécifiques.

A cet effet, les mesures de débit ont été réalisées suivant la méthode au Ful à bulles et selon le protocole développé au chapitre V. Par ailleurs, l'échantillonnage, réalisé au niveau de

l'émissaire d'évacuation des effluents (Figure 46) a consisté au prélèvement des échantillons moyens pondérés au débit, destinés aux analyses physicochimiques à réaliser au laboratoire. Les campagnes commençaient à 7 heures et se terminaient à 18 heures.



Figure 46. Rejets pleins d'écumes de la Pharmakina à 5m environ de leur déversement au lac

C'est l'insécurité régnant dans la ville qui a dicté le choix de prélever uniquement la journée et non la nuit. Ainsi le débit et les prélèvements ont-ils été faits en chaque heure de la journée, du matin jusqu'au soir. De ce fait, on disposait de 12 valeurs de débit et 12 flacons d'échantillons d'eaux gardés dans une boîte isotherme à la fin de chaque journée de terrain (campagne); ces échantillons respectifs permettaient de former un seul échantillon moyen au prorata du débit relatif à chaque heure. La relation ci-après était mise à contribution pour les constituer:

$$V_T = \sum_{i=1}^{n=12} V_i$$

Dans cette équation, V_T est le volume total de l'échantillon moyen pondéré au débit et à considérer pour les analyses, tandis que V_i est le volume d'eau pondéré au débit de l'heure i et est obtenu suivant l'expression:

$$V_i = \%D_i * v_i$$

dans laquelle v_i indique le volume d'eau prélevé à l'heure i (en chacune d'heure entre 7h et 17h) et D_i est le débit en l'heure i . Par contre, pour déterminer le pourcentage proportionnel au débit de chacune d'heure ($\%D_i$), on a procédé à la sommation (DT) de différents débits mesurés le long de la journée, laquelle est traduite par l'expression qui suit:

$$\%D_i = D_i * \frac{100}{D_T}$$

La recherche sur la caractérisation des effluents pharmaceutiques a porté sur 20 campagnes (jours), de juin 2013 à mars 2014 et à raison de 2 campagnes par mois, chaque fois dans un intervalle de 2 semaines.

7.4.2.2 Paramètres d'études

Pour la caractérisation des effluents brassicoles, les paramètres que nous avons retenus sont: le pH, la température, le débit, la demande chimique en oxygène (DCO), les matières en suspension (MES) et l'azote total (Nt). Par contre, la caractérisation des effluents pharmaceutiques s'est attelée au suivi de pH, température, conductivité, oxygène dissous, solides totaux dissous (TDS), DCO, DBO₅, MES, azote total (NT) et phosphore total (PT).

Ainsi, le pH, la température, l'O₂ dissous, la conductivité, les solides totaux dissous (TDS) ont été obtenus *in situ* grâce à un système multisonde de marque HANNA (pour les effluents pharmaceutiques) ou en ligne pour les effluents brassicoles. La détermination de la DBO₅ a été réalisée sur des échantillons bruts grâce aux systèmes Oxitop® incubés à l'obscurité avec addition d'inhibiteur de nitrification (allylthiourée, ATU) pendant 5 jours sous agitation; les MES obtenues suivant la méthode par filtration inspirée de NBN EN 872 (2005) ; tandis que la DCO a été déterminée suivant la méthode colorimétrique (ISO 15705) basée sur l'usage d'un minéralisateur de marque Spectroquant®TR420 et d'un photomètre-lecteur (Spectroquant®NOVA60). L'azote total et le phosphore total ont été mesurés grâce aux kits spécifiques respectifs. Par contre, la charge volumique (Cv) pour la Step de la Bralima/Bukavu a été calculée par la relation:

$$C_v = S_0 * Q/V$$

Dans cette équation, S_0 est la teneur de la DCO de l'effluent à traiter (influent), tandis que Q est le débit (m³/j) et V est le volume (m³).

7.5 Résultats et discussion

7.5.1 Caractérisation des eaux résiduaires brassicoles

7.5.1.1 Données-analyses

En vue de bien caractériser les effluents brassicoles, l'accès aux relevés tant de productions de bière et des boissons sucrées qu'à ceux de consommations d'eau par la Bralima/Bukavu s'est avéré crucial. L'analyse de ces relevés est consignée dans les figures 47 et 48 ainsi que dans le tableau 59.

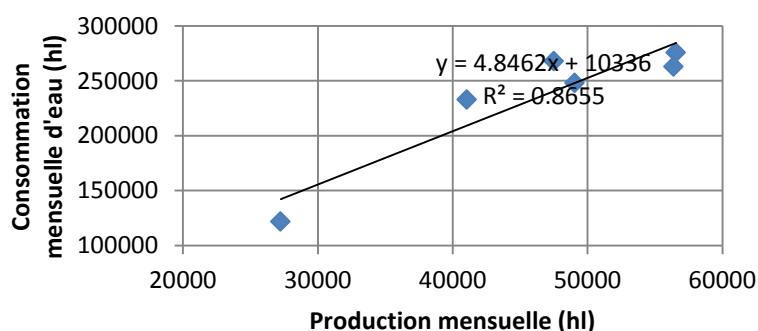


Figure 47. Production de boissons et consommation d'eau mensuelles à la Bralima/Bukavu

Il en découle que la consommation mensuelle de l'eau et la production mensuelle à la Bralima/Bukavu affichent une régression positive ascendante avec une bonne corrélation (86,5%). Le volume de la consommation de l'eau augmente avec le volume de la production. Ceci se justifie par le fait que l'eau est un intrant essentiel à la composition de la bière et intervient dans tous les processus de sa fabrication.

Des consommations mensuelles d'eau, il a été procédé le calcul de la consommation journalière en ramenant leurs valeurs sur 25 jours de la production des boissons à commercialiser (calendrier du travail à la Bralima/Bukavu) afin d'obtenir à partir de la production journalière, la consommation spécifique de l'eau (Tableau 59). La production moyenne journalière se chiffre à 1852 hl tandis que la consommation spécifique de l'eau se calcule en moyenne à 5,1 l/l, avec une plage de 4,7 à 5,7 l/l associée aux variations de productions. La régression entre la consommation spécifique et la production mensuelle montre une tendance linéaire ascendante avec une corrélation non vérifiée (Figure 48). Dans leurs travaux à la Brasserie 2 en RDC en 2010, Vandevenne et Monfort avaient trouvé une consommation spécifique de 7,9 l/l, ce qui paraît très élevé par rapport à notre moyenne (5,1 l/l).

Tableau 59. Production journalière et consommation spécifique d'eau à la Bralima/Bukavu

Mois	Production journalière (hl)	Consommation spécifique eau/produit (l/l)
Janvier 2013	1901	5,6
Février 2013	1090	4,5
Juin 2013	1962	5,1
Juillet 2013	2263	4,9
Janvier 2014	2256	4,7
Février 2014	1642	5,7
Moyenne	1852	5,1

Par contre, il avait noté l'absence de corrélation comme nous, entre la consommation spécifique et la production mensuelle. De par la valeur de consommation spécifique affichée, nous pouvons affirmer que la consommation spécifique de la Bralima/Bukavu paraît conforme aux critères de bonne pratique (DEGREMONT, 2005) qui préconisent un éventail de 4,5 à 7 l pour chaque litre de bière produite. En d'autres termes, globalement, la Bralima/Bukavu fournit des efforts considérables pour opérer une bonne gestion d'eau, traduits notamment par la consommation spécifique soucieuse de l'environnement telle qu'affichée, la construction de l'unique station d'épuration dans toute la région est de la RDC pour traiter ses effluents, la création dans son sein d'un service d'environnement pour s'occuper de cette denrée qu'est l'eau, etc. Mais, notons que le caractère cumulé mensuel des données sur la consommation de l'eau ne nous a pas permis de mener une analyse pointue sur l'évolution de la consommation spécifique de l'eau au cours du mois, pour

établir le degré de corrélation entre la consommation et la production quotidiennes de l'usine.

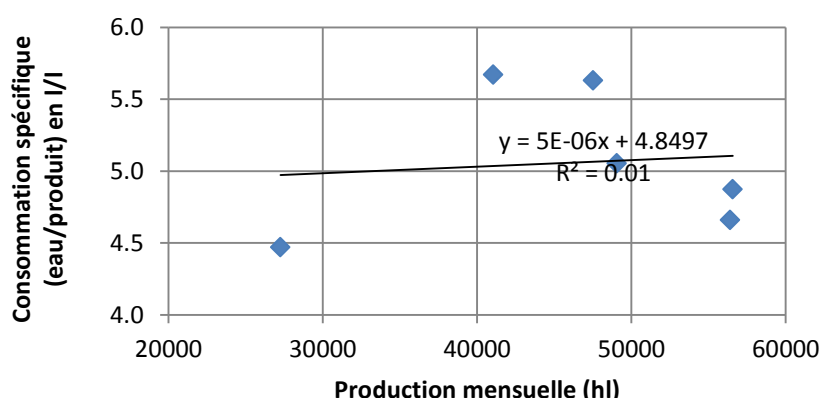


Figure 48. Corrélation entre la production mensuelle et la consommation spécifique à la BralimaBukavu

La mise en place d'un programme d'établissement de relevés quotidiens de la consommation à corréler avec la production journalière, permettrait la maîtrise de la consommation spécifique pour éviter des situations susceptibles d'apporter atteinte à l'environnement et à la santé publique. Ce programme demanderait d'installer non seulement des compteurs sur les chaînes d'approvisionnement en eau de différents postes de travail de l'usine mais aussi les dispositifs pour contrôle de débit des effluents au niveau de différents postes en vue de permettre la réalisation du suivi et du bilan d'eau en termes d'une échéance donnée pour des visées correctives. Les postes réputés consommateurs d'eau dans une brasserie étant les tours aéroréfrigérantes, les laveuses, les pompes à vide ainsi que les diverses opérations de nettoyage. La connaissance des consommations d'eau dans les différents postes, constitue un élément capital également dans la formulation des réponses à mettre en place en vue de baisser les coûts de traitements, dont le recyclage ou la réutilisation de l'eau dans les postes bien définis.

7.5.1.2 Débit

En rapport avec les débits, le graphique (Figure 49) montre les courbes de leur évolution lors de 2 périodes d'étude: période 1 (juin-juillet 2013) pendant 36 jours et période 2 (janvier-février 2014) pendant 26 jours. Avec un maximum et un minimum respectivement de 775,2 m³/j et 179,5 m³/j enregistrés en juin 2013, la moyenne des débits en période 1 se calcule à 420,6 m³/j. En période 2, il s'est enregistré une moyenne de 443,1 m³/j, un maximum de 729 m³/j et un minimum de 150 m³/j.

En considérant ces moyennes mensuelles, il se note des valeurs de 433,7 m³/j et de 402,2 m³/j respectivement pour juin et juillet 2013, aussi de 453,1 m³/j (janvier 2014) et 388 m³/j (février 2014). Les ratios rejet/consommation de ces mois se chiffrent à 0,4 hormis le ratio

de 0,8 noté en février (2014). Au regard de la production, le ratio de 0,4 est une bonne illustration d'utilisation de l'eau par l'usine mais la valeur de 0,8 notée en février semble être excessive que celle attendue, présentant un gain de 20% nonobstant les pertes liées à l'évaporation en brassage et au niveau des condenseurs, ainsi que la fraction de l'eau qui accompagne les déchets et les sous-produits.

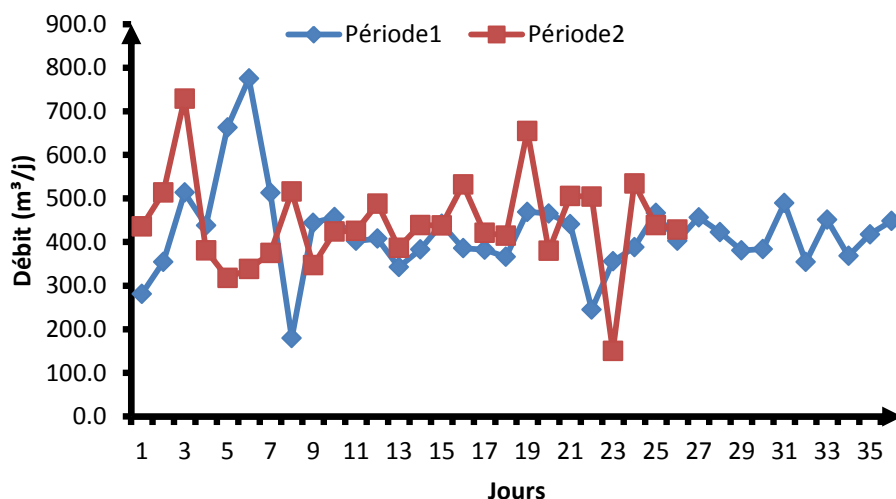


Figure 49. Evolution du débit des effluents brassicoles bruts de la Bralima/Bukavu

Un bilan global réalisé en amont (sur tous collecteurs desservant les différents postes de consommation d'eau) aiderait à porter des corrections. Pour cela, dans le même ordre d'idées, la disposition du plan de collecte des eaux et de sens d'écoulements s'avère nécessaire afin d'apprécier la faisabilité d'écarter certains rejets et favoriser un programme de recyclage d'eau.

7.5.1.3 Caractéristiques des effluents bruts de la Bralima/Bukavu

7.5.1.3.1 pH et température

Les figures 50 et 51 révèlent les résultats en rapport avec l'évolution de pH et de température pendant les 2 périodes de suivi des effluents brassicoles (juin-juillet 2013 et janvier-février 2014).

La lecture de la courbe du pH montre un caractère homogène des résultats dont la moyenne est centrée sur 12 avec des écarts allant de 11,3°C à 12,7 °C en période1 tandis qu'en période 2, il s'observe une moyenne de 11,9 °C ainsi que des écarts entre 10,8 °C à 12,3°C. Ces résultats sont similaires à ceux de la Brasserie 2 en RDC qui ont présenté une moyenne de 11,2 °C et des écarts entre 10,1°C et 12,1°C. Cette alcalinité constante résulterait des activités de lavage et de nettoyage qui se font régulièrement en brasserie. A ces 2 périodes d'étude, les valeurs de la température oscillent autour de 35 °C mais il s'est observé quelques écarts par rapport à cette médiane, notamment 2 inflexions (17,5 °C et 12,7°C) en période 1 (les 2 et 8 juillet 2013) et un pic (45°C) en période 2 (le 27 janvier 2014).

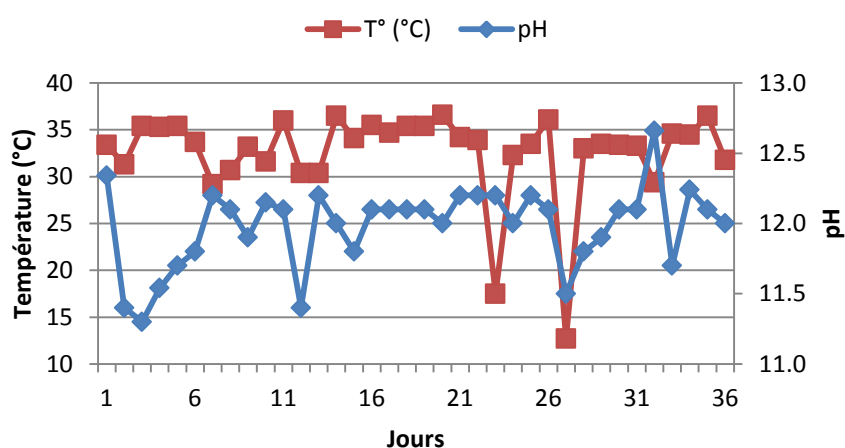


Figure 50. Evolution de pH et température des effluents brassicoles en période 1

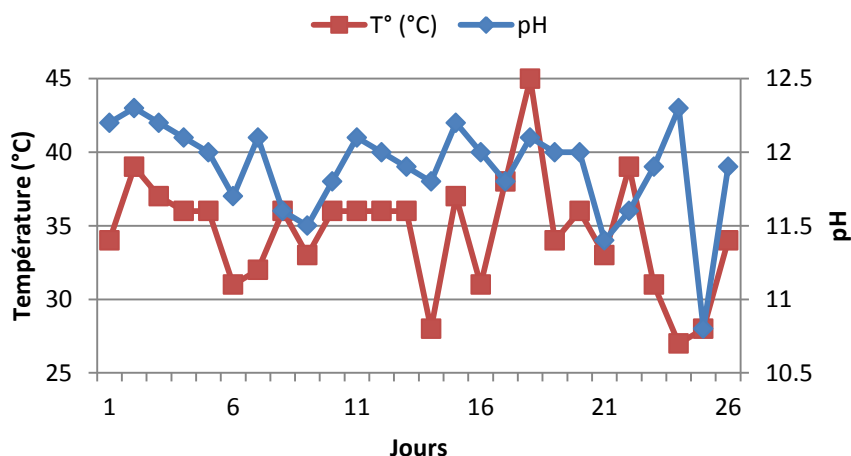


Figure 51. Evolution de pH et température des effluents brassicoles en période 2

7.5.1.3.2 Concentrations en DCO, MES et azote total (NT) des effluents bruts brassicoles

Les effluents de la Bralima/Bukavu ont titré en moyenne 4270,2 mg DCO/l, 51,6 mg/l azote total et 630,3 mg MES/l en période 1, et 6194,7 mg DCO/l, 49,8 mg/l (azote total) et 481,1 mg MES/l en période 2 (Tableau 60).

Pendant ces 2 périodes, les courbes des concentrations affichent une grande variabilité, en période 1 de manière particulière. Cette variabilité illustre la nature variée des activités qui s'opèrent dans une firme brassicole et dont les effets influencent directement l'eau.

Tableau 60. Synthèses des pollutions majeures brassicoles

Période	DCO	Azote total (NT)	MES
		mg/l	
1	4270 ± 1369	51,6 ± 48	630 ± 890
2	6195 ± 1240	49,8 ± 11,2	481 ± 332

7.5.1.3.3 Charges polluantes des effluents bruts

Les calculs basés sur l'association des débits avec les concentrations mesurées, donnent les résultats des flux des pollutions générées par la Bralima/Bukavu au cours des mois d'étude, qui sont consignés dans le tableau 61 en termes des moyennes. Il s'en dégage des charges quotidiennes variant entre 1784 kg et 2818,3 kg de DCO, 18,1 kg et 27,8 kg d'azote total, et de 204,7 kg à 292,3 kg de MES.

Les rapports des charges (%) entre MES et DCO varient entre 7,3 et 15,7. Vandevenne et Monfort (2010) signalent que ces rapports varient habituellement entre 15% et 20%. Nos rapports sont proches mais un peu moins que ses valeurs.

Ces résultats insinuent le caractère minoré des charges en MES dans les effluents bruts de la Bralima/Bukavu mais ne suscitent pas une interrogation. Dans le cas contraire, on se pencherait sur l'examen des possibilités de l'enlèvement et de l'élimination des levures et des drêches. Par rapport à la Brasserie 2 caractérisée par un rapport MES/DCO de l'ordre de 31%, beaucoup plus élevé que les rapports habituels, il s'opère un mécanisme efficace d'élimination des drêches et levures à la Bralima/Bukavu dont la grande partie des pollutions se trouve sous forme dissoute.

Tableau 61. Charges en DCO, MES et azote total des effluents bruts de la Bralima/Bukavu

	Débit	DCO		Azote total		MES		MES/DCO
	m ³ /j	mg/l	kg/j	mg/l	kg/j	mg/l	kg/j	%
Juin 13	433,7	4161,4	1833,2	38,5	18,1	723,6	288	15,7
Juillet 13	402,2	4422,5	1784	70,1	27,8	499,5	208,3	11,7
Janvier 14	453,1	6224,5	2818,3	49,2	22,2	456	204,7	7,3
Février 14	388	6030,3	2340,7	53,3	21,3	618,8	292,3	12,5

Quant au rapport DCO/N, on trouve 100/0,99 (juin 2013), 100/1,55 (juillet 2013), 100/0,79 (janvier 2014) et 100/0,91 (février 2014). Ces rapports sont faibles et montrent des charges normales en azote car les effluents brassicoles sont reconnus par la littérature comme étant pauvres en azote. Il faudra cependant vérifier si l'azote n'est pas limitant pour le traitement biologique de ces effluents.

Évaluée à 2194,1 kg/j, la charge globale de DCO (Tableau 62) représente 18740 EH (1 EH=117,08 g O₂/l DCO). La charge de MES (soit 248,3 kg/j) forme 3994 EH (1 EH=62,17 g O₂/l MES), tandis que la charge en azote total (22,4 kg/j) peut être traduite en 2109 EH de par la valeur de 10,6 g.EH⁻¹ appliquée en Belgique. La charge globale de la Bralima/Bukavu est inférieure à celle de la Brasserie 2 (9500 kg DCO/jour), demanderait relativement moins de coût pour le traitement. Quant aux MES, la Bralima/Bukavu présente une charge nettement inférieure à celle de la Brasserie 2 (2746 kg MES/jour). Habituellement, les rapports

MES/DCO varient entre 15 et 20%. Nos résultats sont généralement inférieurs à cette gamme, chose encourageante, et très loin inférieurs à 31% trouvés à la Brasserie 2.

A la lumière de ces résultats, on peut mettre en évidence, face à la pénurie de l'eau qui sévit dans la ville de Bukavu, les efforts fournis par la Bralima/Bukavu pour éviter le gaspillage de l'eau en mettant en œuvre la promotion des pratiques rigoureuses dans le processus de la fabrication des produits finis, notamment une bonne gestion des drêches et kieselguhr, des contenus de bouteilles écartés, aussi des méthodes efficaces de nettoyage. Par contre, la part élevée des pollutions solubles permet d'indiquer qu'il y aurait des pertes importantes et anormalement élevées dans le circuit de production (filtration, embouteillage, etc.).

Tableau 62. Charges (en kg/j et EH) des effluents bruts de la Bralima/Bukavu

	DCO		Azote total		MES	
	kg/j	EH	kg/j	EH	kg/j	EH
Juin	1833,2	15658	18,1	1707	288	4632
Juillet	1784	15238	27,8	2618	208,3	3351
Janvier	2818,3	24072	22,2	2093	204,7	3292
Février	2340,7	19993	21,3	2005	292,3	4702
Moyenne	2194,1	18740	22,4	2109	248,3	3994

Le tableau 63 indique les pollutions spécifiques révélées par des calculs effectués sur des données mensuelles de production et de différentes charges polluantes. En brasserie, les charges spécifiques normales oscillent entre 1,5 et 2 kg DCO/hl de bière tandis qu'en limonaderie, elles sont évaluées à 0,5 kg DCO/hl de produits finis.

Tableau 63. Pollutions spécifiques de la Bralima/Bukavu

	2013		2014		Normes
	Juin	Juillet	Janvier	Février	
kg DCO/hl boisson	1	1	1,2	1,4	1,2 - 1,6
kg MES/hl boisson	0,2	0,1	0,1	0,2	0,2 - 0,4

A la lumière des critères de bonne pratique (DEGREMONT, 2005) et en nous référant aux valeurs mesurées à la Brasserie 2 qui produit la bière et les boissons sucrées comme la Bralima/Bukavu, la charge polluante spécifique varierait autour de la gamme entre 1,2 et 1,6 kg DCO/hl, et en parallèle entre 0,2 et 0,4 kg MES/hl de produits finis. Les mois de juin et juillet sont caractérisés par une pollution spécifique de 1 kg DCO/hl, ce qui est très proche des valeurs de référence; mais pour la pollution spécifique appliquée aux MES, le mois de

juin se trouve dans la gamme desdites valeurs (soit 0,2 kg MES/hl) et le mois de juillet en présente une valeur très proche (soit 0,1 kg MES/hl). Par contre, les 2 mois de 2014 (janvier et février) présentent des valeurs incluses dans les gammes respectives (1,2 kg DCO/hl et 1,4 kg DCO/hl, aussi 0,2 kg MES/hl pour février) hormis le mois de janvier dont la charge spécifique est de 0,1 kg MES/hl, beaucoup proche de la valeur de référence. Cela nous pousse à dire que l'étude s'inscrit dans la logique de la littérature en dépit du fait que nous n'avons pas mené des investigations en amont dans toute la chaîne de la fabrication des produits finis.

7.5.1.4 Rendements épuratoires de la STEP de la Bralima/Bukavu

7.5.1.4.1 Valeurs moyennes de pH et température dans les influents et effluents de la Step

Les résultats (Tableau 64) affichent des réductions notables des valeurs (température et pH) entre les influents et les effluents.

Tableau 64. Températures moyennes des eaux usées à la Step/Bralima en périodes 1 et 2

Période	Paramètres	Influents	Effluents
1	pH	12 ± 0,3	8,8 ± 0,3
	Température (°C)	32,6 ± 4,8	16,1 ± 3,4
2	pH	11,9 ± 0,3	8,7 ± 0,2
	Température (°C)	34,6 ± 3,9	19,2 ± 2,4

7.5.1.4.2. Rendements sur la DCO

Le profil de l'abattement de la DCO affiché pendant notre étude, présente des résultats à encourager. Les rendements sont supérieurs à 90% en P1 mais surtout en P2. En effet, P1 fait partie de la première année du lancement des activités de cette station, tandis que la P2 est intervenue en sa deuxième année (Tableau 65).

Tableau 65. Rendements épuratoires en DCO pendant les 2 périodes d'étude

Période	Effluents bruts	Effluents traités	
		mg/l	Rendement (%)
1	4270 ± 1369	365 ± 219	91,5
2	6195 ± 1240	251 ± 58	95,7

Rappelons que la Step n'a pas encore fonctionné de manière optimale et n'est pas réceptionnée officiellement à la Bralima; en d'autres termes, elle continue encore de faire l'objet de la surveillance de l'équipe vietnamienne qui avait gagné le marché. Ainsi peut-on constater qu'en P1, les charges appliquées sont inférieures aux charges appliquées en P2. Cependant, les flux à traiter étant en général trop élevées et rarement constants, comme cela peut être le cas d'une industrie de la taille de la Bralima/Bukavu, et face au fait que les réacteurs biologiques s'accommodent mal de ces variations, la présence des bassins de

calamité (urgence) et d'égalisateur montre leur raison d'être dans cette station (Figure 52). Les bénéfices à en tirer sont nombreux comme le mentionne Edeline (1997): éviter les à-coups brutaux de charges et de concentrations que ne saurait supporter la station, bénéficier d'une neutralisation réciproque (pH, redox), réduire les réactifs, alimentation continue des appareils, distribuer les rejets de façon plus ou moins uniforme. Dans son fonctionnement pendant nos travaux, la *Step* de la Bralima/Bukavu a présenté des charges volumiques variant de 0,3 à 2,5 kg DCO/m³/j en période1 (P1), et de 0,4 à 1,9 kg DCO/m³/j en période2 (P2).

La figure 53 montre que le rendement épuratoire sur la DCO est une fonction puissance en P1 et une fonction linéaire en P2. Cependant, les corrélations ne sont pas vérifiées dans tous les deux périodes. La littérature, particulièrement les travaux de Yahi *et al.* (2010), montre que le rendement d'élimination de la pollution organique est supérieur à 95% dans le domaines des charges moyennes équivalentes à 1 kg DBO₅/m³.j, avec un pic épuratoire (98%) correspondant à une charge volumique de 1,2 kg DBO₅/m³.j.

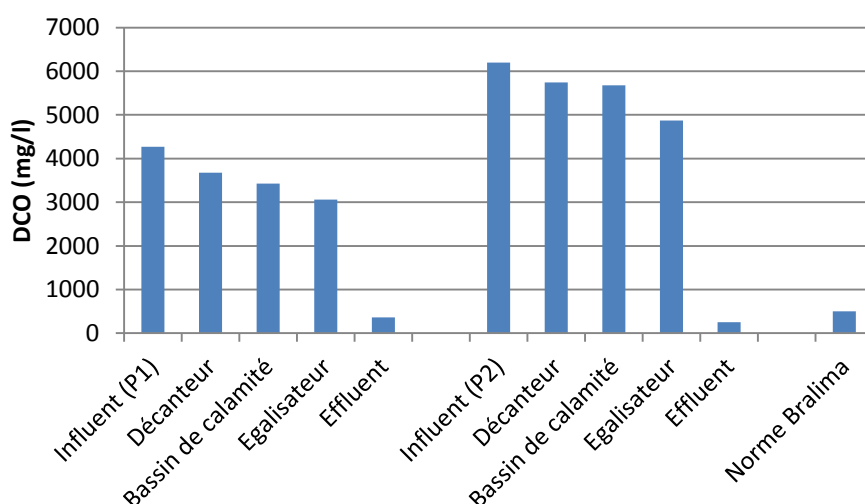


Figure 52. Evolutions de concentrations en DCO pendant le traitement en périodes 1 et 2

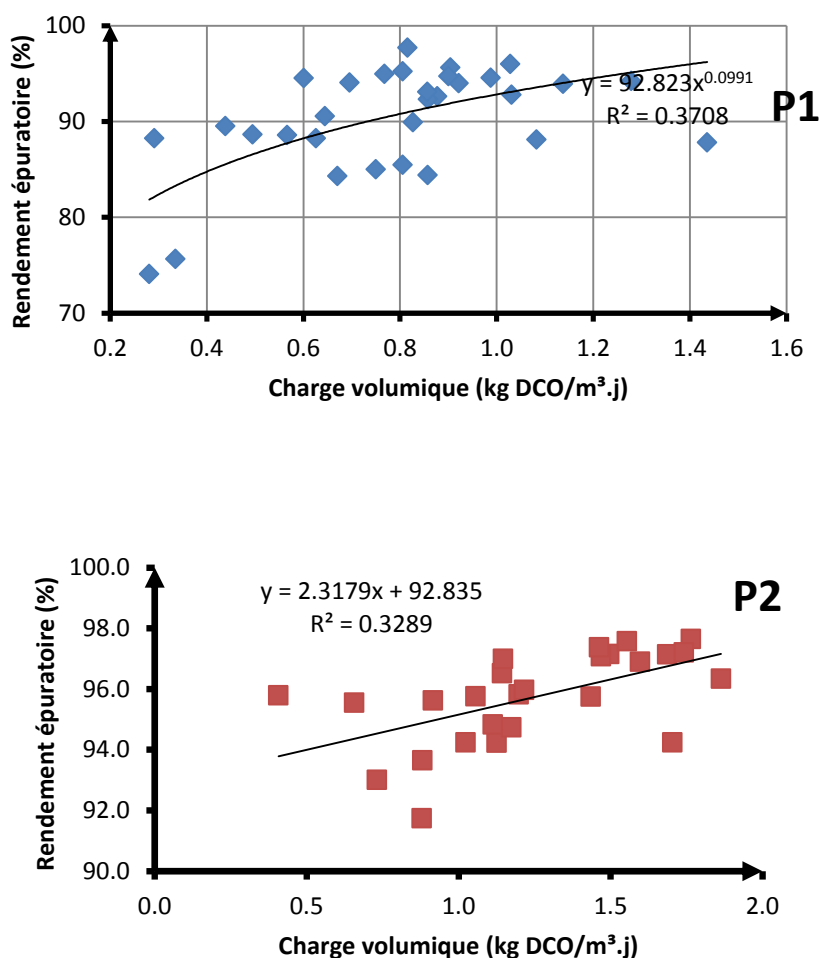


Figure 53. Influence de la charge volumique sur le rendement épuratoire en DCO

En traduisant ces charges volumiques en DBO_5 en fonction de DCO, nous remarquons que 1 $\text{kg DBO}_5/\text{m}^3.\text{j}$ correspond à la charge en DCO de 1,73 $\text{kg}/\text{m}^3.\text{j}$, et le pic trouvé correspond à 2,08 $\text{kg DCO}/\text{m}^3.\text{j}$. Ainsi, nos résultats montrent de bons rendements épuratoires -en P2 surtout- quand les charges volumiques sont dans le domaine des charges mentionné par Yahi *et al.* (2010); tandis que les rendements tendent à diminuer lorsque les charges s'en écartent comme c'est le cas surtout en P1 (Figure 53).

Par rapport à la DCO résiduelle, les charges volumiques appliquées affichent des fonctions linéaires ascendante en P1 et descendante en P2 (Figure 54). Cependant, les corrélations ne sont pas justifiées car les coefficients de régression sont très faibles.

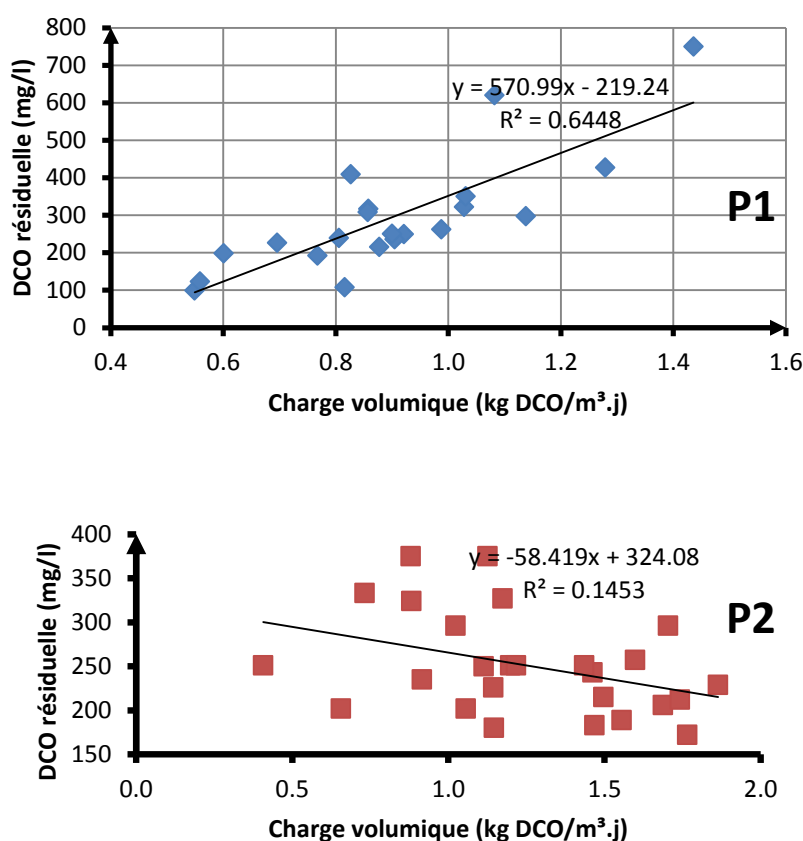


Figure 54. Influence de la charge volumique sur la DCO résiduelle

La DCO résiduelle est faible lorsque les charges volumiques appliquées sont comprises dans le domaine autour de 2 kg DCO/m³.j. comme évoqué par la littérature. Dans tous les cas, la station a respecté les normes de rejet assignées par la Bralima/Bukavu, à savoir des teneurs en dessous de 500 mg/l de DCO. Notons que cela semble admissible pour un pays comme la RDC dépourvue de normes de rejet, susceptibles de sanctionner les déversements des effluents dans le milieu naturel. Mais nous pensons que les normes retenues par cette industrie brassicole ne répondent pas encore aux standards de normes relatives rencontrées dans bien des pays vraiment soucieux de réduction d'empreintes écologiques et qui prônent une teneur en DCO de 125 mg/l comme valeur de rejet des effluents en milieu naturel.

7.5.1.4.3. Rendements sur les matières en suspension (MES) et l'azote total (NT)

Les résultats (Tableau 66) attestent en P1 et P2, des réductions de 71,7% et 62,2% pour MES, et de 79,7% et 81,8% pour l'azote total.

Tableau 66. Rendements de la Step sur MES et NT

Période	Paramètres	Effluents brassicoles	Concentration moyenne (mg/l)	Charge moyenne (kg/j)	Rendement (%)
1	MES	Non traités	630,3 ± 889,7	254,8 ± 306,3	71,7
		Traités	178,3 ± 124,8	48,1 ± 29,7	
	Azote total	Non traités	51,6 ± 48	22,1 ± 21,6	79,7
		Traités	10,5 ± 8,5	3,1 ± 3,2	
2	MES	Non traités	481,1 ± 332,1	218,2 ± 164	62,2
		Traités	173 ± 113	58,9 ± 37,3	
	Azote total	Non traités	49,8 ± 11,2	22 ± 7,7	81,8
		Traités	8,1 ± 3,4	2,8 ± 1,1	

Au vu de ces rendements, on pourrait dire que la *Step* a bien fonctionné en P1 contrairement en P2 où le rendement sur MES est mauvais (62,2%). Disons que les teneurs moyennes en MES obtenues en P1 (178 mg/l) et P2 (173) dans les effluents rejetés par la station sont en toutes ces deux périodes par contre, en deçà des seuils fixés par la Bralima/Bukavu, et ce en dépit du faible rendement remarqué en P2 (62,2%). De même, constatons que les rendements épuratoires sur l'azote total sont bons (79,7 et 81,8%) pour les deux périodes (P1 et P2), mais les teneurs des effluents traités en azote total (10,5 et 8,1 mg/l) ne satisfont pas aux normes de la Bralima/Bukavu qui demandent des teneurs en dessous de 5 mg/l, standard peu approprié. Ces explications nous amènent à affirmer que les normes de la Bralima/Bukavu devraient être revues et se conformer aux standards internationaux, qui préconisent des teneurs en MES des rejets inférieures à 150 mg/l. Aussi, les MES rencontrées dans les effluents traités auraient une fraction non organique (minérale) importante car les charges en azote total et en MES font état des ratios de 6,4% (P1) et de 4,8% (P2), inférieurs à 10% (DEGREMONT, 2005). La faiblesse de l'abattement des MES serait liée à une certaine défaillance relative aux processus de décantation en phases de prétraitement, et serait en plus influencée par les exploitations des gravats et sables aux alentours de la station.

En dépit du fait que les effluents brassicoles sont réputés pauvres en azote (Ochieng *et al.*, 2003), le profil de l'abattement de l'azote total dans la *Step* de la Bralima/Bukavu, donne une allure encourageante. En rejoignant Casellas *et al.* (2002), l'amélioration de ce profil passe par trois stratégies, dont la gestion du temps de la réaction (allongement de la phase d'anoxie), la gestion de la source de carbone assimilable par le management de l'apport de l'oxygène, et la gestion de la source de carbone par le management de l'alimentation. En effet, l'augmentation de la durée de l'anoxie influence positivement l'abattement de l'azote total, mais il est question de vérifier si cette pratique n'impacte pas négativement l'efficacité des autres taux d'abattement (Carbone, MES, Phosphore) ou la décantation des boues. Cette justification est appuyée par Charmot *et al.*, 1997) qui stipulent que l'augmentation de la

durée de l'anoxie peut conduire à la défloculation partielle des floccs bactériens, à un relargage du phosphore ou à une lyse bactérienne perturbant la qualité globale du rejet.

7.5.2 Caractérisation des effluents de la Pharmakina

Pendant nos études, les effluents de la Pharmakina ont présenté des caractéristiques qui sont reprises dans le tableau 67.

Tableau 67. Caractéristiques physicochimiques des effluents de la Pharmakina

Paramètres	Moyenne	Intervalle
Débit (l/s)	16,8	11 - 25,4
pH	9,6	8,9 - 10,4
Température (°C)	29,2	28,2 - 30,3
Conductivité (µS/cm)	2143	1625 - 3040
Oxygène dissous (mg/l)	3,9	1,5 - 5,7
TDS (mg/l)	1076	804 - 1556
MES (mg/l)	185	55 - 410
DCO (mg/l)	851	574 - 1321
DBO ₅ (mg/l)	286	130 - 444
NT (mg/l)	10	5 - 18
PT (mg/l)	1,1	0,7 - 2,2

Les effluents déversés dans le lac présentent un pH alcalin, un degré élevé de minéralisation, l'oxygène en dessous du seuil de 5 mg/l. En dépit des valeurs acceptables de la température, ces effluents montrent une image de pollutions pouvant impacter négativement les eaux du lac. Les recherches que nous avons effectuées révèlent que la Pharmakina rejette quotidiennement dans le lac Kivu, les charges comme indiqué dans le tableau 68, en fonction des saisons.

Tableau 68. Charges journalières des pollutions produites par la Pharmakina suivant les saisons

Flux (kg/j)	Saison sèche		Saison humide	
	Moyenne	Variation	Moyenne	Variation
DCO	938,2	680,5 - 1313,3	1354	842,5 - 1843,4
DBO ₅	234,6	138,8 - 323,5	505,2	210 - 816,4
MES	105,2	52,3 - 136,9	356,7	166,4 - 676,6
Azote total	9,3	4,8 - 14,5	18,3	8,8 - 39,5
Phosphore total	1,6	0,8 - 2,1	1,6	0,8 - 3,1

En fait, en génie sanitaire, il est intéressant de présenter les résultats en termes de pollutions spécifiques afin de faciliter la compréhension du problème. Ainsi, tenant compte de 21 jours de production à la Pharmakina et des moyennes des pollutions de cette

compagnie pendant les 20 campagnes de nos recherches (1229,2 kg/j de DCO; 424 kg/j de DBO₅; 281,3 kg/j de MES; 15,6 kg/j de NT et 1,6 kg/j de PT), on obtient les flux des pollutions mensuelles. Et en faisant le ratio entre les flux des pollutions mensuelles (kg/mois) et les produits fabriqués mensuellement (kg), on aboutit aux résultats des pollutions spécifiques comme consigné dans le tableau 69.

Tableau 69. Charges spécifiques des pollutions de produits fabriqués en janvier 2014

	Sulfate pharma	Chlorhydrate de quinine
DCO/produit (kg/kg)	5,2	8,2
DBO ₅ /produit (kg/kg)	1,8	2,8
MES/produit (kg/kg)	1,2	1,9
NT/produit (kg/kg)	0,1	0,1
PT/ produit (kg/kg)	0,01	0,01

Par kg de sulfate pharma produit, il y a rejet dans le lac de 5,2 kg DCO; 1,8 kg de DBO₅ et 1,2 kg de MES, alors que cette production est responsable seulement de 0,1 kg d'azote total et 0,01 kg de phosphore rejetés. S'agissant de chlorhydrate de quinine, on peut imputer à la production de l'unité (kg) de cette dernière, un rejet de 8,2 kg (DCO), 2,8 kg (DBO₅), 1,9 kg (MES); ce qui représente une hausse de 36,6% (DCO), de 35,7% (DBO₅) et de 36,8% (MES) des pollutions déversées dans le lac en unité du sulfate produit. En passant par l'origine, la régression affiche un coefficient de l'ordre de 92% (Tableau 70).

Tableau 70. Synthèse de corrélations entre la DCO et la DBO₅

Synthèse de la Régression; Variable Dép. : DCO (Feuille de données3) R= ,96240873 R ² = ,92623056 R ² Ajusté = ,92234796 F(1,19)=238,56 p<,000000 Err-Type de l'Estim.: 240,98						
N=20	b*	Err-Type de b*	b	Err-Type de b	t(19)	valeur p
DBO5	0,962409	0,062311	2,749583	0,178020	15,44536	0,000000

On pourra alors écrire : $DCO = 2.749 \cdot DBO_5$, dont la représentation graphique (Figure 55) affiche une très bonne régression.

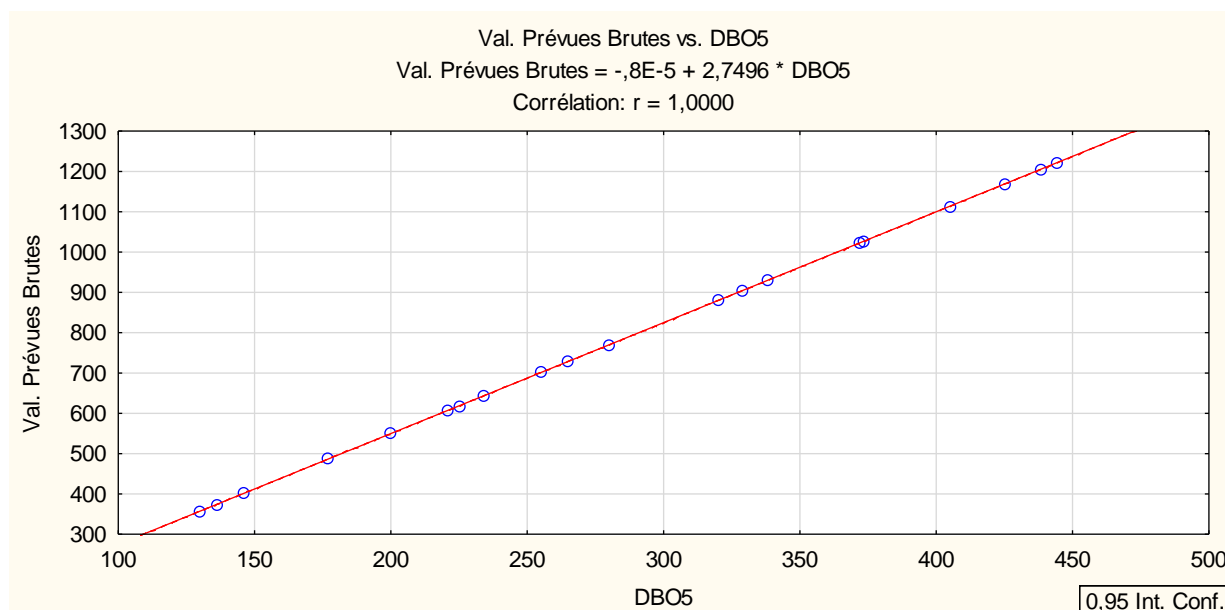


Figure 55. Corrélation entre la DCO et la DBO₅

Tableau 71. Corrélation entre la DCO et l'azote total

Synthèse de la Régression; Variable Dép. : DCO (Feuille de données16 dans Classeur2)						
R= ,94527225 R ² = ,89353963 R ² Ajusté = ,88793645						
F(1,19)=159,47 p<,00000 Err-Type de l'Estim.: 289,49						
N=20	b*	Err-Type de b*	b	Err-Type de b	t(19)	valeur p
Azote	0,945272	0,074854	74,37819	5,889872	12,62815	0,000000

Avec l'équation $DCO = 74.37 * \text{Azote tota}$ (Tableau 71), la synthèse des corrélations présente des valeurs moins bonnes par rapport aux liaisons de la DCO avec la DBO₅. Pour vérifier globalement le niveau des relations entre les différentes pollutions et la DCO afin de déterminer l'influence de chacun de ces paramètres dans les pollutions en DCO obtenues en écrivant une équation du type:

$$DCO = \alpha DBO_5 + \beta NT + \gamma PT + \delta MES$$

Où NT est l'azote total et PT symbolise phosphore total, il s'en est suivi que les différences n'étaient pas significatives pour l'azote total et les MES, dont les valeurs de p étaient supérieures à 0,05, ce qui a ramené notre équation à la forme suivante car les valeurs de p étaient inférieures à 0,05 pour DBO₅ ($p=0,000063$) et PT ($p=0,009340$):

$$DCO = \alpha DBO_5 + \gamma PT$$

Par régression multiple, cette équation s'écrit :

$$DCO = 1,82 DBO_5 + 256,69 PT$$

Ce qui nous amène à dire que l'influence de la DBO_5 dans la DCO produite par la Pharmakina et déversée dans le lac Kivu, serait importante par rapport à celle des autres paramètres. En effet, dans cette pollution, on trouve des substances biodégradables qui seraient liées aux rejets domestiques des ménages implantés dans la concession de la Pharmakina et du personnel. A l'instar des substances biodégradables, on trouve dans ces effluents une part plus ou moins importante liée au phosphore total. En effet, le phosphore fait partie des éléments constitutifs des molécules organiques, notamment au niveau des acides nucléiques (ADN et ARN) et des protéines, et bien entendu, de certains produits utilisés intervenant dans les processus d'extraction de principes actifs de quinquina et de la synthèse des médicaments. Par contre, la part liée à l'azote serait minorée vu que les écorces utilisées de quinquina sont sèches. Dans la même optique, les MES ne possèdent pas une influence notable dans ces effluents.

7.6 Conclusion

La présente étude a été réalisée dans le but de déterminer les flux de pollution produits par les deux plus grandes industries de Bukavu (Bralima et Pharmakina) et d'évaluer les processus d'abattement des pollutions brassicoles dans la station d'épuration de la Bralima. Les résultats obtenus montrent que ces industries de Bukavu (Bralima et Pharmakina) sont responsables de l'émission de grosses pollutions, dont les plus importantes charges reviennent à la Bralima; ce qui constitue l'apanage des structures agroalimentaires. A la Bralima, la production moyenne journalière se chiffre à 1852 hl tandis que la consommation spécifique de l'eau est centrée sur une moyenne de 5,1 l/l. La charge globale est évaluée à 2194,1 kg/j (DCO) et représente 18740 EH (1 EH=117,08 g O_2 /l DCO); à 248,3 kg/j (MES), ce qui correspond à 3994 EH (1 EH=62,17 g O_2 /l MES); et à 22,4 kg/j (azote total), soit 2109 EH (10,6 g.EH⁻¹). La charge polluante spécifique se trouve être dans la gamme de 1,2 à 1,6 kg DCO/hl, et de 0,2 à 0,4 kg MES/hl de produits finis. Les analyses effectuées dans la Step de la Bralima, montrent des réductions notables mais les charges des pollutions arrivant dans le lac, demeurent importantes. Les normes (DCO, MES, azote total) assignées à la Step de la Bralima/Bukavu, trop larges, devraient être revues et se conformer aux standards internationaux. La recherche a révélé à la Pharmakina, l'émission des charges importantes, évaluées à 5,2 kg DCO; 1,8 kg de DBO_5 et 1,2 kg de MES par kg de sulfate pharma produit, il y a rejet dans le lac de, avec une hausse de 36,6% (DCO), de 35,7% (DBO_5) et de 36,8% (MES) pour 1 kg de chlorhydrate de quinine produit. La Pharmakina qui est une industrie du secteur phytochimique, rejette ses effluents bruts dans le lac; ce qui présente des risques importants pour les populations et les ressources halieutiques du lac.

Références bibliographiques

Braeken L., Van der Bruggen B. and Vandecasteele C. (2004). Regeneration of brewery waste water using nanofiltration. *Water Research*, 38: 3075-3082.

Casellas M., Dagot C., Baudu M. (2002). Stratégies d'élimination de l'azote d'un effluent urbain dans un réacteur discontinu séquentiel (SBR). *Rev. Sci. Eau* 15/4, pp. 749-765

Charmot M.L., Roche N. et Prost C. (1997). Influence d'une alimentation séquentielle sur l'épuration par boues activées d'un effluent fortement chargé. *Rev. Sci. Eau*, **3**: 377-394.

DEGREMONT (2005). Mémento technique de l'eau. Degremont, Suez. 10^e édition, Paris-France.

Edeline F. (1997). Théorie et technologie des réacteurs. L'épuration biologique des eaux. Editions CEBEDOC, Liège, 303p.

Fillaudeau L., Blanpain-Avet P., Daufin G. (2006). Water, wastewater and waste management in brewing industries. *J. Cleaner Prod.* 14: 463- 471

Kanagachandran K. and Jayaratne R. (2006). Utilization potential of brewery waste water sludge as an organic fertilizer. *J Inst. Brew.*; 111(2): 92-96.

Moletta R. (2002). Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires, ed tec&doc, Paris, 600p.

Nsavyimana G. (2014). Modélisation des processus physiques et biologiques dans des fosses septiques et voie de valorisation des boues de vidange: application à Bujumbura-Burundi. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 427p.

Ochieng A., Odiyo J.O, Mutsago M. (2003). Biological treatment of mixed industrial wastewaters in a fluidised bed reactor. *Journal of Hazardous Materials*. Vol. 96, pp. 79-90.

Shao X., Peng D., Teng Z. and Ju X. (2007). Treatment of brewery wastewater using anaerobic sequencing batch reactor (ASBR). *ScienceDirect, Bioresource Technology*, **99**: 3182-3186.

Vandevenne L. et Monfort O. (2010). Gestion de l'eau de la Brasserie 2-RDC. Travail inédit, CEBEDEAU, 106p.

Wébographie

<http://osibouake.org/?RDC-Pharmakina-a-Bukavu-fabrique>, 23/08/2014

CHAPITRE VIII. VERS UN PROGRAMME DE PROMOTION DE L'ASSAINISSEMENT DE LA VILLE DE BUKAVU

8.1 Présentation de systèmes d'assainissement à Bukavu

Dans la ville de Bukavu, la situation de l'assainissement est préoccupante. La ville était dotée jadis d'un réseau d'égouttage qui était suffisant et bien géré de sorte que la plupart des maisons y étaient connectées. Compte tenu des fortes dénivellations qui caractérisent la ville, le réseau fonctionnait par gravitation. Les eaux usées de la commune de Kadutu étaient rassemblées et traitées dans une station, dont l'emplacement se trouvait au niveau de la place dite "Deux poteaux", à 70 m environ en amont du rond-point appelé "Olive", entre l'avenue dite Industrielle et celle de la PIR (Police d'Intervention Rapide).

Ainsi, les eaux traitées issues de ce bassin, pouvaient gagner le lac via la Kahwa. La grande station de la ville était installée dans la commune de Bagira, entre le quartier "C" et la rivière Nyamuhinga, et traitait la plupart des eaux usées produites dans la ville; notamment celles de Bagira grâce au réseau d'égouts de type séparatif, et d'autres quartiers de la ville (commune d'Ibanda). Des recherches fouillées entreprises au niveau des services administratifs de la commune de Bagira ou au niveau des services d'hygiène de la ville, dont le laboratoire en ruine est trouvé au bâtiment appelé Hygiène à Labotte, et qui abrite le ministère provincial de la santé publique, ne nous ont pas permis de déterminer les types de ces *Steps*, ni leur mode de fonctionnement.

En effet, les détériorations qui ont affecté ces stations et les parcelles qui les abritaient, ne nous ont pas facilité la tâche: au niveau de la station de "Deux poteaux", de nouvelles maisons occupent toute la parcelle de la station, et les vestiges consistent en la présence du vieux bâtiment administratif et de quelques dalles. A la grande station de Bagira, située peu en retrait des zones habitées, on peut tout de même localiser les hangars à toitures détachées, les lits de séchage, etc. Cela étant, force est de constater que la plupart des égouts sont non fonctionnels ou ne permettent plus d'assurer leur fonction (Figure 56).

Parmi les raisons à évoquer, on peut citer les constructions anarchiques qui caractérisent la ville, car les maisons sont construites sans permis de construction et même au dessus des ouvrages d'assainissement, obstruant carrément ces derniers. Dans les conditions de pluviométrie élevée prévalant à Bukavu, il en découle des inondations accompagnées de forts dégâts matériels et humains dans la plupart des cas.

Par ailleurs, du fait de la défaillance et de la pénurie touchant le secteur de l'égouttage, le système d'assainissement sanitaire qui prédomine dans la ville, est de type non collectif. La collecte et l'évacuation des eaux grises se font généralement par infiltration dans le sol ou via des drains aménagés ou quelques collecteurs, tandis que les eaux noires sont soit

stockées dans les fosses septiques, situation fréquente dans les communes de haut et moyen standings ou dans les zones populaires dépourvues de collecteurs ou éloignées des rivières, soit aussi rejetées dans les exutoires naturels (rivières, lac) ou dans les ouvrages de drainage (Figure 57).

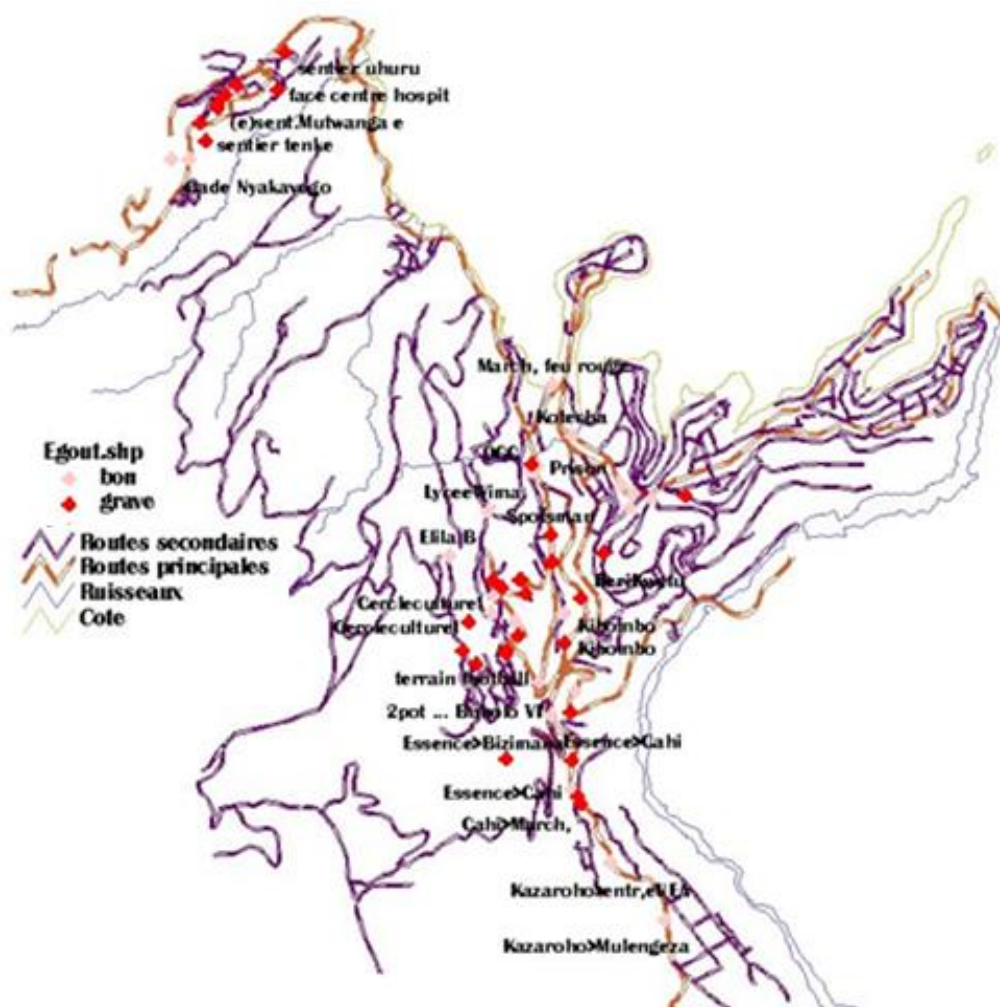


Figure 56. Egouts, routes et ruisseaux dans la ville de Bukavu (Tréfois et al., 2002)

Quant à l'assainissement pluvial, les taux de collecte et d'égouttage sont très faibles. Dans les quartiers résidentiels d'Ibanda (Labotte, Ndendere, Muhumba, Nguba, Nyalukemba) ou certains quartiers de Kadutu (Industriel, Bugabo, etc.), se rencontrent des égouts, dont la plupart sont hors service ou non adéquat pour les débits actuels, accrus des eaux pluviales occasionnées par l'augmentation du bâti et la quasi-disparition des espaces verts qui faisaient la beauté de la ville. Nous profitons de l'occasion pour signaler que les ménages de la plupart des "nouveaux quartiers" comme Muhungu, Pageco, Panzi, etc. ne sont pas raccordés au réseau d'égouttage et, du coup, les eaux pluviales sont entraînées par la gravitation sur les pentes naturelles rencontrées dans la ville.



Figure 57. Vues de pratiques de rejet des eaux grises et noires dans les rigoles de la ville

8.2 Evaluation de systèmes d'assainissement à Bukavu

8.2.1 Nature du sol et perméabilité de terrains face au choix de systèmes d'assainissement

En signalant que la nature géologique de Bukavu est dominée par l'alternance des coulées entrecoupées par des épisodes intenses d'altération, Tréfois *et al.* (2002) soulignent une nette différence à constater entre Ibanda (comprenant le palier Muhungu-Bugabo) et les communes escarpées (Kadutu et Bagira). A Ibanda, il est signalé l'existence de trois horizons observables (A, B et C) à l'avenue ISGA et le sol est argileux; un sol jaunâtre soubassé par un horizon riche en enclaves pyroclastiques de coloration brunâtre au quartier Ruzizi II en face de la douane; un sol de couleur rouge-brunâtre formant l'horizon B au quartier Mulengeza II; un sol d'horizon B de couleur rougeâtre et une multitude de résurgences au quartier

Kazaroho; un sol argileux sur des roches basaltiques, formant l'horizon B (18m) à Muhungu III-Cercle hippique. En commune de Kadutu, on trouve un sol d'horizon B de couleur brunâtre et à grande épaisseur au quartier Kibonge; un sol rouge brunâtre soubassé par un paléosol rouge brique à la bifurcation Funu-Buholo III; des sols noirâtres et parfois jaunâtres avec beaucoup de résurgences d'eau (Camp Zaïre, Bugabo et Funu), dont la grande source aménagée de Kadurhu qui alimente en eau tous les quartiers environnants (Camp Zaïre, Bugabo I et Maendeleo). En plus, on trouve des sols épais (plus de 20m), d'altération avancée et où c'est possible d'identifier l'horizon A (2m d'épaisseur, de couleur grisâtre à noirâtre), l'horizon B (15m d'épaisseur, de couleur rougeâtre) et l'horizon C. En parallèle, on trouve en commune de Bagira, la présence des sources aménagées et beaucoup de résurgences d'eau.

Toutes ces informations peuvent sous-tendre les pratiques de gestion d'assainissement à adopter en vue d'atteindre des résultats probants et efficaces. Cela étant, la nature à dominante argileuse des sols de Bukavu paraît ne pas être susceptible de favoriser l'infiltration dans le sol, ce qui présage des inondations, qui d'ailleurs sont récurrentes dans la ville. Ainsi, lorsqu'on analyse la situation de l'assainissement sur fond des propriétés pédologiques et géomorphologiques, des questions se posent en rapport avec les pollutions tant des ESU (eaux de surface) que des ESO (eaux souterraines). Ces inquiétudes pouvant être particulières en fonction de la saison. En saison humide, elles surgissent du fait que les sols à dominante argileuse ne peuvent permettre l'infiltration, faisant que les eaux usées sont fréquemment rejetées en surface car les sols sont gorgés d'eaux. Ainsi, vu qu'elles ne sont pas traitées, ces eaux affectent alors directement les ESU en y déversant tous leurs potentiels pathogène et toxique. Par contre, en saison sèche, les sols de Bukavu se dessèchent et se crevassent, favorisant l'infiltration des eaux usées; ce phénomène favoriserait la contamination des ESO, largement utilisées également par une bonne partie de la population surtout en commune de Kadutu (quartiers de Kaduru, Funu, Binamé,...) mais aussi en communes de Bagira (Kasha,...) et Ibanda (Kazaroho, Mulengeza, etc.).

En outre, ces inquiétudes sont amplifiées par la géomorphologie de Bukavu, qui est caractérisée par d'intenses mouvements de terrains et de glissements (Ilunga, 1989 ; Tréfois *et al.*, 2002). Ainsi, on peut mentionner les micro-glissements qui caractérisent le quartier Industriel comme étant les facteurs explicatifs des affaissements hydrogéologiques jouxtant ledit quartier, ou aussi les dissolutions probables des roches carbonatées qui expliqueraient les affaissements de Ciriri, Quartier latin, Saïo, etc. Ces mouvements provoquent des ondulations et des fissures à travers lesquelles les pollutions peuvent atteindre les aquifères. La littérature, dont les travaux de Tréfois *et al.* (2002), considère de surcroît qu'hormis en commune d'Ibanda, la plupart des quartiers sont érigés sur des niches d'arrachement, notamment les quartiers lotis après la décolonisation) où les risques sont manifestes ou imminents (éboulements et avalanches). La maîtrise de ces connaissances constitue un

atout majeur dont il faudra tenir compte en vue d'établissement des ouvrages et systèmes d'assainissement s'inscrivant dans le cadre de la promotion de la santé des populations de Bukavu et de la protection de leur cadre de vie.

Rappelons qu'en l'absence des égouts, le système à promouvoir est l'assainissement non collectif (ANC). Un tel système pourrait faire appel à diverses technologies, sèches ou humides ou encore de type Ecosan. Face à ces technologies, certains facteurs sont déterminants et devraient *à priori* faire l'objet d'une étude afin de mettre en place une filière d'assainissement qui soit fonctionnelle, à la grande satisfaction des usagers, notamment la perméabilité outre les pentes de sites et niveau de la nappe. Pour le cas de la perméabilité des terrains, l'épandage souterrain est possible lorsque la vitesse d'infiltration varie entre 15 et 500 mm/h (Tableau 72).

Tableau 72. Vitesse d'infiltration (V) en fonction de types de sols (Berrada, 2007)

Types de sols	Vitesse d'infiltration (mm/h)
Argile	$V < 25$
Limon	$15 < V < 30$
Limon-sable	$30 < V < 100$
Sable	$100 < V < 500$
Tertre ou filtre à sable	$V > 500$

En fonction de ces précisions liées à la perméabilité, les risques de pollutions pour le cas de la ville de Bukavu, peuvent être notés en saison sèche et au début de saison de pluie sur les aquifères, tandis qu'en saison humide, ils portent sur la contamination des ESU car les sols argileux et gorgés d'eau, ne favoriseraient pas d'infiltration, remettant les différentes pollutions en ruissellement. De toute manière, vu les surfaces disponibles par habitation, les sols argileux ne semblent pas permettre l'évacuation pérenne des eaux usées par infiltration. En effet, les sols argileux et les fortes pentes favorisent plutôt le ruissellement. Cependant, la contamination des ESO n'est pas exclue.

8.2.2 Niveau de la nappe face au choix de systèmes d'assainissement

Le sous-sol de Bukavu regorge un potentiel hydrogéologique très important comme en témoignent plusieurs sources d'eau que l'on peut trouver dans chacune de communes qui composent la ville. En effet, la ville de Bukavu est localisée dans l'unité hydrogéologique comprenant les roches socles cristallines et fracturées (Tréfois *et al.*, 2002), provenant du Précambrien (basalte et granit) et qui forme le terrain montagneux à l'est de la RDC, longeant la vallée du Grand Rift du lac Tanganyika au lac Edouard, et qui contienne des aquifères discontinus mais dotés d'un potentiel élevé. En dépit de cette richesse à Bukavu, aucune étude approfondie portant sur cette ressource n'a été jamais menée. Ceci est en adéquation avec UNEP (2013) qui avait déclaré que l'information en rapport avec l'étendue

et la qualité des réserves hydriques souterraines et de l'eau des sources est rare en RDC et, si on en trouve, elle reste souvent obsolète et couvre une zone géographique restreinte et bien déterminée. Mentionnons tout de même les travaux de Tréfois *et al.* (2002) qui ont pu établir une première carte des sources et autres sites de captage d'eau. Cette carte situe la répartition et la localisation des sources d'eau au niveau des cirques d'affaissement ou dans les endroits affectés par diverses instabilités, ce que l'on peut observer aux quartiers Muhungu, Kazaroho, Gihamba, Funu, Bugabo, Nyakavogo, etc. En outre, signalons que les différents cours d'eau de la ville, se font renforcer en débits partant de différentes sources d'eau situées dans ces cirques d'affaissement. Cette propriété traduirait une relation de cause à effet entre la circulation des eaux infiltrées et les mouvements de terrain, à l'instar des travaux de Ellison *et al.* (1993) qui indiquent une intime relation entre la pente, les sources d'eaux et les mouvements de terrain dans la ville de Londres.

Un autre thème de recherche à promouvoir en guise d'exploitation dudit potentiel hydrogéologique, se trouve être l'estimation, et la localisation, des aquifères. Cette recherche conduirait à la mise en place des conditions susceptibles d'assurer une exploitation responsable et durable de cette ressource. Au regard de plusieurs sources qui émergent dans la ville, ce qui traduit l'importance à accorder au potentiel hydrogéologique, il n'y a pas de mesures sécuritaires prises pour sauvegarder cette ressource des risques liées à la pollution par des constructions de maisons et des installations sanitaires que l'on peut observer même à une distance de moins de 10 m d'émergence de sources. Ainsi les nappes sont-elles contaminées par des fosses septiques. Ce qui fait que plusieurs quartiers sont touchés par la recrudescence des diarrhées et autres maladies endémiques liées à l'eau. Tel est le cas des zones de santé de Kadutu et Ibanda, où le choléra est endémique (voir chapitre II). Pour le cas d'une filière donnée d'assainissement, on peut déterminer son aptitude en fonction de profondeur de la nappe (Tableau 73). A la lumière de ces valeurs, l'épandage souterrain s'avère prohibé pour les sites où la profondeur de la nappe se trouve être en dessous de 2 m, étant donné que cette proximité est susceptible de favoriser la contamination de cette formation géologique réservoir naturel d'eau douce. En outre, il est intéressant d'identifier l'usage de la nappe.

Tableau 73. Aptitude d'une filière d'ANC en fonction de la profondeur de la nappe (Berrada, 2007)

Profondeur (P) de la nappe (en m)	Aptitude à l'assainissement
P>5	Favorable
2<P<5	Moyennement favorable
P<2	Défavorable à très défavorable

Pour le cas de Bukavu, on peut mettre en exergue le fait que les aquifères n'ont jamais fait l'objet d'études et ne sont pas exploités de manière optimale en vue de résoudre le problème sérieux du sous-approvisionnement en eau des habitants, auquel on peut associer

l'absence des mesures de protection des sources d'eau et les constructions anarchiques; tout cela concourt à l'altération de cette eau que les populations utilisent au mépris de leur santé (Figure 58).



Figure 58. Vues de proximité des habitations autour des sources de Bukavu

8.2.3 Pentes de terrains face au choix de systèmes d'assainissement

Bukavu est une ville caractérisée par une topographie formée d'importantes dénivellations, avec des pentes convergeant vers le lac Kivu, à l'extrémité sud duquel la ville est bâtie. Dans la ville, point n'est besoin de rappeler que les surfaces bâties continuent de prendre de plus en plus de l'espace, jusqu'à coloniser les sites impropres à la construction.

Dans cette optique, on a vu en chapitre II que la croissance de cette évolution entre 1954 et 2001, varie entre 10 et 26% selon les intervalles de degré d'inclinaison, avec des avancées notables sur les sites à degré d'inclinaison très élevé : +26% de bâtis sur les sites de 11 à 15 degrés, +18% sur les sites de 16 à 20 degrés, et 10% sur des sites dont les pentes affichent une inclinaison supérieure à 20 degrés. Ceci induit que les surfaces non bâties s'amenuisent davantage, contribuant par conséquent à l'augmentation des flux d'eaux usées à évacuer.

En outre, l'emploi des ouvrages d'assainissement (latrine traditionnelle, fosses septiques et même puits perdants ou tranchées filtrantes) ne peut convenir à ces genres de conditions, qui prédisposent les sites aux mouvements de terrains et érosions (Tableau 74).

Tableau 74. Aptitude à l'assainissement en fonction de la topographie (Berrada, 2007)

Pente (%)	Aptitude à l'assainissement
$P < 8$	Favorable à moyennement favorable
$8 < P < 15$	Moyennement favorable à défavorable
$P \geq 15$	Défavorable à très défavorable

De par les données de 2001 (Tréfois *et al.*, 2002), 35% seulement des bâtis étaient aptes à un assainissement favorable, tandis que 28% des bâtis ne permettaient pas d'ériger des dispositifs d'assainissement. Aujourd'hui, la situation est pire que celle connue en 2001, à cause de la ruée des habitations sur des sites à inclinaison de plus en plus élevée, ainsi qu'à cause de la prolifération des maisons de fortune sur des sites accidentés (Figure 59).



Figure 59. Maisons dans des quartiers à lotissement spontané

8.2.4 Pluviométrie face au choix de systèmes d'assainissement

Les travaux relatifs à la pluviométrie prévalant à Bukavu sont rares et les données ne sont pas souvent actualisées. Cependant, quelques stations météorologiques sont implantées à l'ISP/Bukavu ou aux alentours de la ville, notamment au Centre de Recherches en Sciences Naturelles de Lwiro, à Nyangezi; on peut aussi recourir à la station météorologique de la ville rwandaise de Kamembe située en face de Bukavu, à l'autre côté de la rivière Ruzizi (rive gauche) pour actualiser ces données.

En effet, l'analyse des données pluviométriques peut conduire à la compréhension des risques sanitaires prévalant dans la ville, dans un contexte d'augmentation excessive du bâti, du déficit d'assainissement (collecte, transport et traitement) et d'hyper densification humaine. Cela étant, en nous référant aux travaux de Ilunga (1977), les stratus, altostratus et nimbostratus, responsables de pluies moyennes sont rarement signalés à Bukavu, tandis que les cumulus et cumulostratus générateurs d'averses y sont dominants.

Ainsi, Ilunga (1989) a étudié les statistiques de mesures pluviométriques de 1984 à 1989 et a conclu sur 1008 pluies diurnes observées dans cette ville, les hauteurs varient de 0 à 66 mm :

0-1 mm (35,7%), 1-2 mm (20,3%), 2-3 mm (9,4%), 3-4 mm (5,9%), 4-6 mm (8,7%), 6-9 mm (6,9%), 9-13 mm (5,1%), et 13-66 mm (8,2%). Il en découle que les pluies de Bukavu ont un caractère d'averse tropicale, et leur intensité constitue un paramètre déterminant quant à leur agressivité vis à vis de l'érosion.

Au vu de l'augmentation excessive du bâti observée actuellement dans la ville, ces données revêtent un caractère impérieux de mise à jour. De ce fait, Muhigwa (2013) a noté une augmentation de température en décennie 90 par rapport aux précédentes, allant de 0,5 °C à 1 °C, voire 1,5 °C, alors que pour la pluviométrie, le problème ne se pose pas en termes des moyennes annuelles mais plutôt au niveau de la distribution en termes des mois. Selon la littérature, la pluviométrie est un paramètre important dans la propagation des maladies et des pollutions, qui touchent toute la sphère vitale dans les pays en voie de développement, en particulier à Bukavu (RDC) où apparaît lors de la saison des pluies, une prévalence élevée des maladies liées à l'eau (choléra, salmonelloses, etc.), signe probant de la contamination des ESU et ESO, en lien avec la maturation et la dissémination des germes et parasites.

En effet, avec la diminution des espaces verts tendant vers leur quasi-disparition, le morcellement des parcelles qui sont de plus en plus réduites avec des maisons construites souvent en étages, tendant à occuper tout l'espace parcellaire. Ainsi, tout visiteur débarquant pour la première fois dans la ville, sera surpris d'entendre que les ouvrages d'assainissement dans certaines habitations, notamment les fosses septiques, sont placés en dessous des living room ou garage (s'il y en a). Quant à la population locale, cela ne constitue nullement une surprise. De même, beaucoup d'activités de vidange sont réalisées pendant les pluies, et dont les produits (boues de vidange) sont carrément déversés dans les canaux de drainage ou même dans la rue, car les eaux pluviales permettent leur évacuation rapide. Ainsi la pluviométrie contribue-t-elle à la pollution des écosystèmes urbains. En sus de ces pollutions biologiques, la pluviométrie favorise également la dégradation du cadre de vie par la dissémination de diverses émissions industrielles, domestiques et non domestiques.

A l'issue d'évaluation des systèmes d'assainissement, il ressort qu'il n'y a aucun critère qui puisse à lui seul permettre un choix de système d'assainissement convenable à un site, et qu'il est plutôt essentiel de vérifier plusieurs critères (économique, environnemental, financier ou technique). Un tel choix doit être basé sur les dimensions physiques et environnementales (qualité des sols, réseau hydrographique, nappe phréatique, topographie, altitude, pluviométrie, température, vent, etc.), économiques et socioculturelles. Les considérations socioculturelles peuvent englober la structure sociale, les croyances et pratiques d'ordre culturel ou relatives à l'hygiène et aux maladies, ainsi que les réactions au changement. De ce fait, il y a des facteurs qui sont déterminants et dont il sied de prendre en compte pour vérifier si un système d'assainissement réalisable techniquement est proposable aux ménages ou communautés. Ainsi peut-on citer le

caractère populaire du système; son degré d'adaptation aux habitudes culturelles locales ou religieuses; sa capacité technique de réduction des pollutions et risques pour la santé; sa facilité d'installation par les usagers eux-mêmes; son coût (achat de matériaux, main d'œuvre, etc.); sa facilité pour exploitation et entretien (Franceys *et al.*, 1995).

8.3 Egouttage comme perspective de promotion d'assainissement à Bukavu

Rappelons que la ville de Bukavu, forte de 800574 habitants sur 40 km², fait face à un déficit multiforme qui caractérise les parcelles et l'organisation même d'assainissement dans la ville. D'une part, les parcelles sont davantage exigües et tendent à être occupées entièrement par des maisons à telle enseigne qu'il est difficile de trouver d'espaces susceptibles d'abriter les ouvrages d'assainissement, ce qui fait l'espace soit considéré comme un facteur limitant pour la mise en place des systèmes corrects d'ANC capables de permettre la conjugaison de trois maillons d'assainissement (collecte, transport/évacuation et traitement).

En effet, pour la majorité des habitants de la ville, en construisant une maison, la mise en place des ouvrages d'assainissement n'est pensée qu'en dernier lieu, donc ne constitue pas une préoccupation majeure dans les pratiques usuelles de construction et d'aménagement. Ainsi les fosses septiques peuvent-elle être placées sous le living room ou le garage. D'autre part, la course à la propriété foncière connaît une expansion phénoménale, et le fait d'être propriétaire constitue un indice de réussite dans la vie pour la plupart des habitants. Cette conception favorise l'augmentation du bâti dans la ville, qui est par ailleurs, défavorisée physiquement car confinée entre le lac et les montagnes; ceci fait que le contexte physique de Bukavu soit considéré comme un facteur limitant pour son développement spatial.

Dans la même optique, la ruée vers le titre de propriété foncière conduit également à la prolifération des maisons accessibles seulement par des piétons. Ce fait défavorise la mise sur pied des systèmes corrects du maillon secondaire d'assainissement qu'est le transport (évacuation) des déchets ou des produits de vidanges vers des sites de traitement ou assignés à cet effet (dépotage). L'inaccessibilité ne permet pas de pratiquer des vidanges mécaniques, faisant que les camions acquis à cet effet par la Mairie de Bukavu et l'OVD (Office des voiries et drainage) ne peuvent couvrir la majorité des ménages, dont un bon nombre est prêt, financièrement, à recourir à ces services techniques.

Tenant compte des lacunes (déficits) auxquelles l'ANC est confronté, il serait idéal que les autorités entreprennent des projets de grands travaux qui puissent miser sur le développement de systèmes collectifs de type séparé: les eaux sanitaires peuvent être récupérées par un réseau d'égouts sanitaires et les eaux pluviales par un autre réseau. Ainsi, les interventions, jugées imminentes, seront orientées d'abord vers le traitement des eaux sanitaires, ce qui épargnera au pouvoir public des dépenses financières exorbitantes s'il s'agit de considérer l'ensemble des eaux usées générées dans la ville en recourant au réseau

unitaire. Cependant, on peut nuancer ces analyses. En effet, les quartiers à haut standing (Muhumba, Nguba et Nyofu), dont les parcelles sont moins soumises aux morcellements et sont accessibles par véhicules, peuvent bien se permettre le recours à l'ANC alors que la quasi-totalité de la ville reste défavorisée (maison occupant presque toute l'étendue de la parcelle, inaccessibilité par véhicules, sites érosifs, proximité des résurgences d'eau, etc.). Dans ce contexte, le choix du type d'assainissement à adopter (notamment l'ANC) dans les différents quartiers serait guidé par la conjugaison d'un certain nombre de paramètres, dont la structure et l'aptitude des sols à ce type d'assainissement, la densité des populations ainsi que la consommation de l'eau, la capacité et surtout la volonté des bénéficiaires à honorer les coûts y afférents. Par ailleurs, afin de diminuer l'impact des eaux pluviales sur l'environnement, on peut profiter de la proximité de la ville des marais (marais de Mukukwe-Luziba, de Panzi, de Saint Paul) pour aménager des filtres plantés de roseaux (constructed wetlands).

Pour rappel, l'établissement du réseau collectif d'assainissement d'une ville doit répondre à deux catégories de préoccupations: le transit vers une station d'épuration des eaux usées générées (domestiques et industrielles), et l'évacuation des eaux pluviales de manière à éviter non seulement l'inondation des zones urbanisées, mais aussi toute stagnation des eaux après les averses. Mentionnons qu'à Bukavu, au stade actuel, le réseau d'égout, héritage de la colonisation, ne répond plus aux besoins ressentis et se trouve dépassé d'autant plus que, non seulement il n'a pas été dimensionné pour la population actuelle, mais aussi du fait de la vétusté et du manque d'entretien.

Dans ce contexte, il est essentiel de maîtriser les flux des eaux produits dans la ville, principalement les débits des eaux domestiques, non domestiques et, le cas échéant, des eaux industrielles et parasites. Loin de nous de faire les travaux des ingénieurs, rappelons tout de même qu'il y a divers paramètres et notions préalables à considérer avant toute installation d'un réseau d'égout, notamment les débits des eaux à évacuer, qui sont dépendants des moments de la journée, de la température et des saisons et auxquels il sied d'affecter un facteur de pointe pour avoir le débit maximal sur lequel on va tabler.

Pour la conception des réseaux d'égouts domestiques et pluviaux, la procédure de calcul procède par plusieurs étapes, dont le dimensionnement qui est la première étape, la localisation des regards d'égouts qui sont des ouvrages de grande importance, la délimitation des sous bassins, la définition des critères de design (hydrologiques, démographiques, topographiques), et le choix des paramètres de design, permettant d'atteindre l'objectif du dimensionnement d'un tronçon. Ledit objectif est de déterminer la pente et le diamètre des conduites, les vitesses d'écoulement et l'élévation des radiers.

Par ailleurs, en favorisant la séparation de deux réseaux, l'accent pourra être mis sur la remise en service des anciens égouts pouvant être considérés comme secondaires et qui aboutiraient à de nouveaux égouts, de plus grande importance, au bout desquels on

pourrait aménager des bassins de stockage ou des bassins relais, du moins pour les eaux sanitaires des zones éloignées des sites appelés à abriter les futures stations. De ces bassins, les camions vidangeurs s'approvisionneraient pour évacuer/transporter les effluents dans des *Steps*, dont l'existence dans la ville a un caractère impérieux. Vu le contexte à forte pluviométrie et à moyen terme, le réseau pluvial serait orienté carrément vers le lac Kivu ou la rivière Ruzizi; cependant, le réseau amenant vers cette dernière, pourrait orienter une partie du flot dans les *Wetlands améliorés* à mettre en place, avant de se déverser dans la Ruzizi, et cela pour une double raison: de prime abord, les marécages jonchent une bonne partie de berges de la rive droite de cette rivière (un atout naturel considérable dont il faut profiter), mais aussi la rivière Ruzizi abrite deux centrales hydroélectriques (une troisième est en construction) qui alimentent en énergie la quasi-totalité du courant utilisé au Rwanda et au Burundi, outre les villes de Bukavu et Goma (capitales provinciales de Sud et Nord-Kivu) en la partie congolaise. Cela pour prévenir les risques de colmatage au niveau des grilles de ces différentes centrales hydroélectriques.

Par rapport au traitement d'effluents, deux sites conviendraient à cet effet: la vallée de Nyamuhinga, qui d'ailleurs avait abrité l'ancienne *Step* qui existait à Bukavu, et la vallée de Muhungu (Luziba); ces deux sites étant diamétralement opposés (le premier à l'ouest et le second à l'est) et aux sorties de la ville, constitueraient des aspects stratégiques pour desservir les différents ménages. En y ajoutant les *wetlands* à aménager et localisés au sud de la ville, ces trois sites forment un triangle circonscrivant la ville, aspect idéal pour desservir toute la ville.

Quant à la typologie des stations, l'intention majeure porterait sur le mode de traitement extensif, notamment le lagunage. Ce dernier comporte des avantages intéressants pour le cas des pays en développement (PED) comme la RDC. Dans cette thématique, on peut rejoindre Bonomo *et al.* (1997), Kengne (2000 et 2003) qui mentionnent le manque de capital et d'une main d'œuvre qualifiée dans les PED comme incitants pour la promotion du lagunage qu'est une écotecnologie propice dans le domaine de traitement des eaux usées.

De manière claire, la littérature (Bonomo *et al.*, 1997; Kengne, 2000, 2003; Tangou, 2014) atteste que le lagunage en général (à microphytes ou à macrophytes) comprend divers avantages: grande simplicité de fonctionnement (un simple réglage du débit permettant aux effluents de s'écouler de façon gravitaire à travers un ou plusieurs bassins); faibles coûts d'investissement et de fonctionnement en comparaison aux coûts demandés pour entretien aux autres systèmes d'épuration (boues activées, biodisques, lit bactérien), en ce sens qu'il ne demande pas une source d'énergie électrique, pas non plus une main d'œuvre qualifiée, mais plutôt de simples matériels pour entretien et disponibles sur le marché (tracteur, brouette, pelle, râteau,...). Aussi, il permet d'obtenir un bon degré de purification organique à un coût de fonctionnement faible, sur base d'une maintenance minimale, et d'éliminer significativement des germes pathogènes par rapport à d'autres méthodes de traitement.

En outre, cette littérature mentionne des avantages supplémentaires: très bonne intégration paysagère et bonne adaptabilité aux zones tropicales en conditions climatiques favorisant un fonctionnement sans interruption le long de l'année; capacité à supporter relativement les fluctuations hydrauliques et de charges; possibilité de traiter une large gamme d'effluents (urbains, industriels ou agricoles); faible production de boues (évacuation tous les 10 ou 15 ans) ; biofiltre des odeurs (CH_4 , H_2S , NH_3 ,...) par le tapis végétal formé en surface d'eau; site de préservation de la biodiversité tant faunistique que floristique; valorisations aquacole et agricole de la biomasse planctonique produite et des effluents épurés et source de production des aliments, fibres et colorant. Cette panoplie d'avantages primerait sur les inconvénients que comprend le lagunage et que l'on peut trouver dans plusieurs travaux, dont Bonomo *et al.* (1997), Kengne (2003), Tangou (2014). Il faut cependant la construction d'un collecteur, et disposer de grandes surfaces. Pour cela, l'ancien site de la *Step* de Bagira conviendrait mieux. Par ailleurs utiliser des marais naturels pour faire du lagunage n'est probablement pas une bonne idée, même s'ils peuvent recevoir les eaux traitées.

8.4 Revalorisation des déchets comme perspective de promotion d'assainissement à Bukavu

8.4.1 Digestion anaérobie

8.4.1.1 Notes générales

Autant que pour la dépollution biologique par la voie aérobie, la littérature sur la digestion anaérobie est bien documentée dans le monde. Au sein de l'unité Assainissement et Environnement/ULg, beaucoup de travaux se sont appesantis sur cette thématique (Effebi, 2008; Hararerimana, 2011; Nsavyimana, 2014; Bigumandondera, 2014; Mindele *et al.*, 2015).

Pour rappel, la digestion anaérobie est la transformation de la matière organique par un consortium de microorganismes en conditions anaérobies, en biogaz formé principalement par le méthane et le gaz carbonique (Moletta, 2008). En d'autres termes, il s'agit d'une transformation permettant d'éliminer les matières organiques et en faire un produit énergétique. Cette voie peut être conseillée à nos pays (en développement) qui présentent généralement un déficit en énergie et investissement; ainsi peuvent-ils obtenir des produits valorisables, tout en luttant contre la pollution.

La température constitue un facteur important pour obtenir une bonne cinétique de transformation de la pollution organique. A Bukavu, la température moyenne est aux alentours de 20 °C, ce qui peut permettre l'application des technologies extensives. Les calculs peuvent amener à évaluer la quantité théorique de biogaz formée au cours d'une méthanisation. En considérant une DCO donnée et en appliquant la loi des gaz parfaits, on peut calculer le volume de biogaz produit grâce à la relation : $P \times V = n \times R \times T$ où P est la

pression du gaz, V le volume du gaz à cette pression, n le nombre de mole de gaz, R la constante des gaz parfaits (0,082 l.atm-1) et T la température du gaz en degrés Kelvin.

Ainsi, à 25 °C et 1 atm, les 6 moles de gaz issues de l'oxydation du glucose par 6 moles d'oxygène, auront un volume de 146,61 litres. De ce fait, pour 1 g de DCO consommée, on obtiendra 0,7636 l de gaz, dont environ 50% de CH_4 et 50% de CO_2 . A travers cette réflexion, nous voulons contribuer à l'initiative de l'établissement d'un avant-projet sur la production de l'énergie renouvelable en mettant en valeur les flux des effluents urbains déterminés (Chapitre V), notamment ceux produits en commune de Bagira. Il s'agit d'estimer la quantité de biogaz et d'énergie à produire partant desdits effluents.

8.4.1.2 Etat de lieux à Bukavu/Sud-Kivu

Rappelons que la ville de Bukavu en particulier et la province du Sud-Kivu en général, ont fait l'objet de quelques expérimentations sur la biométhanisation déjà à la première moitié du siècle passée (1925), comme le mentionne la littérature (Badila, 1995). Depuis ce moment, quelques digesteurs ont été implantés dans la ville et quelques territoires administratifs de la province du Sud-Kivu. On peut en citer un échantillon ayant d'ailleurs cessé de fonctionner que récemment, en début des années 2000: l'Institut Supérieur Pédagogique de Bukavu (ISP/Bukavu), l'Institut Supérieur de Développement Rural (ISDR/Bukavu) et l'abattoir public dans la ville de Bukavu, avaient abrité chacun un digesteur de type chinois, de volume variant de 10 à 20 m³, tandis que quelques digesteurs de type chinois comme les précédents et de volumes de 10 à 30 m³, ont été installés dans deux territoires de la province, notamment à Burhinyi en territoire de Mwenga, à Chilongo, Kaziba/Chilanda, Kaziba/Ngando Kibumbu en territoire de Walungu (Monzambe, 2001). On peut retenir le manque d'expertise et de volonté politique comme les principaux facteurs ayant entraîné l'arrêt de ces projets porteurs d'espoir.

8.4.1.3 Vers la mise en place d'une filière de digestion anaérobie à Bagira/Bukavu

Le choix des effluents ménagers de la commune de Bagira, se justifie par une double raison: (i) la proximité de cette dernière avec le site où était installée l'ancienne *Step*, susceptible d'abriter le digesteur. Leur transport à travers un égout par gravitation constitue un atout majeur pour limiter les coûts y afférents, sous réserve des réhabilitations nécessaires à apporter à ce réseau ou carrément de la construction d'un nouveau réseau adapté aux conditions actuelles (densité, occupation de sols, etc.).

En fonction des résultats obtenus en cette commune (Chapitre V), le collecteur de Bagira charrie des flux de 650 kg/j (saison sèche) et 7078 kg/j (saison humide), avec des concentrations moyennes en mg/l, respectives de 331 et 2015. Sur base de la littérature qui reconnaît aux eaux usées urbaines une $\text{DBO}_{\text{infinie}}$ équivalant à 0,58 de la valeur de la DCO ($\text{DBO}_{\text{infinie}} = 0,58 \cdot \text{DCO}$), les $\text{DBO}_{\text{infinies}}$ dégagées sont de 192 et 1169 mg/l. Dans cette

planification, nous allons tabler sur la valeur de la DCO de la saison humide qui dure pendant neuf mois l'an. Pour déterminer le volume du digesteur, en optant pour la technologie de type UASB, on considère la charge massique $2 \text{ kg DCO} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{j}^{-1}$. Le volume du réacteur est obtenue en divisant le flux par cette charge massique ($7078 \text{ kg DCO J}^{-1} / 2 \text{ kg DCO m}^{-3} \text{J}^{-1}$), ce qui donne environ 3500 m^3 . En considérant un volume utile de 2500 m^3 , on obtient le produit $2500 \text{ m}^3 \cdot 1169 \text{ mg/l}$, on aura 2923 kg DCO .

Sachant que pour 1 kg de DCO éliminée, il y a une production bien sous le seuil théorique de $0,35 \text{ m}^3$ de méthane étant donné que plus de la moitié du méthane généré reste dissous dans l'effluent et une certaine fraction de la DCO pouvant être utilisée par les bactéries sulfito-réductrices (Moletta, 2008), Noyola *et al.* (1988) mentionnent un intervalle à 0°C et 1 atmosphère , de $0,08$ à $0,18 \text{ m}^3$ de méthane par kilo de DCO éliminé. En tablant sur une production de $0,15 \text{ m}^3$ de méthane par 1 kg de DCO éliminée, le volume sera de: $0,15 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot 2923 \text{ kg} = 438 \text{ m}^3$ de méthane/J.

Tenant compte du fait que l'équivalence énergétique du méthane est $9,7 \text{ kWh/m}^3$ (Moletta, 2002), cela amène à une production d'énergie de : $9,7 \cdot 438 = 4249 \text{ kWh}$. En considérant que la moitié du courant produit est autoconsommée, la production utile reviendrait à 2125 kWh , ce qui peut paraître faible face aux investissements. Mais les présents résultats sont à nuancer, car ces calculs sont faits sur base de digesteur de 3000 m^3 avec un volume utile de 2500 m^3 d'effluents, qui équivaut au volume d'effluents évacués par le collecteur de Bagira pendant environ 50 minutes. Aussi, lesdits calculs sont effectués en conditions de 0°C et 1 atmosphère , mais la production réelle dépendrait des conditions prévalant à Bukavu: une pression autour de 101400 Pa et une température moyenne centrée sur 20°C . Tout compte fait, il est opportun de rejoindre la littérature qui mentionne que les rendements énergétiques des digesteurs sont bons avec les effluents de concentration en DCO biodégradable supérieure à 2000 mg/l . En effet, Moletta (2008) précise qu'un des inconvénients observés des digesteurs anaérobies traitant les eaux résiduelles des égouts (une faible DCO) est une relative haute teneur en DCO des eaux traitées, constituant une limitation due à la cinétique de la biomasse méthanogène et liée spécifiquement à la forte valeur de K_s (constante de saturation du modèle de Monod. En parallèle, il est ici l'occasion de nous inspirer des travaux de Nsavyimana (2014), préconisant la co-digestion anaérobie avec les déchets solides organiques, des effluents ménagers (pour notre cas), procédé efficace et optimal pour la valorisation de ces sous-produits, tout en contribuant à l'amélioration de la qualité environnementale : production d'énergie valorisable sous forme d'électricité ou de chaleur, nuisances associées aux déchets réduites, et production d'un digestat compostable de meilleure qualité.

8.4.2 Valorisation-matière : Emploi des drèches brassicoles pour la promotion de l'élevage des porcs dans la ville de Bukavu

8.4.2.1 Contexte

Le manque de rentabilité financière caractérisant les projets d'assainissement dans la plupart des pays du sud, en raison de l'insuffisance des budgets nationaux, en fait un secteur qui n'attire ni les pouvoirs publics, ni le secteur privé. Les structures agroalimentaires sont réputées émettrices de grosses pollutions dans la nature; c'est le cas notamment des brasseries. Ainsi, à l'instar de la fraction liquide des pollutions rejetées, les drèches brassicoles peuvent être valorisées dans les activités d'élevage, et constituer de ce fait un apport considérable dans une dynamique de maximisation des recettes pour les pays en voie de développement comme la RDC. En effet, ces structures industrielles génèrent d'importantes quantités de drèches et de levures, que l'on peut considérer comme une source alimentaire potentielle pour l'élevage de porcs et de volailles (Demeke, 2007). Ces résidus, issus de la fabrication de la bière et qui possèdent des caractéristiques nutritionnelles en fonction de leur origine et de la proportion des matières premières ayant servi à leur fabrication, constituent des alternatives pour avoir un aliment moins coûteux et dont le prix à l'élevage est lié principalement à son transport; mais il sied de surveiller de près sa qualité et sa conservation.

Dans la ville de Bukavu et à l'instar des autres villes du pays, la production et la consommation porcines gagnent de l'importance. L'attraction de ce secteur remonte déjà à la deuxième moitié du 20ème siècle où ledit secteur est devenu la première production en termes de viandes d'élevage au niveau national, et ce devant les secteurs aviaire et bovin. Evalué à un pic de 1154000 têtes en 1998, le cheptel porcin a commencé à décroître progressivement pour atteindre 1049000 têtes en 2000 et même sous la barre du million comme c'est le cas depuis toute une décennie, où la production de viande oscille autour de 24000 tonnes par an (FAO, 2012). Retenons qu'en l'absence de mise en jour pour plusieurs coins inaccessibles du pays, ces données officielles sont à coup sûr minorées, au regard de l'engouement caractérisant ledit secteur et la forte consommation de sa viande par la grande majorité de congolais.

Selon SNSA (2006), la répartition de ce cheptel est à mettre en relation avec les habitudes tant culturelles, religieuses que des dimensions économiques locales: 73% du cheptel sont concentrés dans quatre provinces (Bas-Congo, Bandundu, Kasai-Occidental et Nord-Kivu). Quant à la consommation de viande de porc, FAO (2012) mentionne que le nombre de calories fournies et disponibles par habitant et par jour a considérablement baissé de 2000 à 2007, et le niveau d'énergie moyen provenant de cette viande est de 3,8 calories par personne et par jour. En se référant aux normes nutritionnelles qui mentionnent un besoin journalier de 2500Kcal/personne/jour, il va de soi que la production de viande de porc ne permet de combler qu'une infime partie de besoins théoriques d'un individu. Pour

contribuer à la promotion de l'assainissement, en intégrant les aspects économiques à travers le développement des activités pastorales, cela constituerait un bon challenge à mener.

8.4.2.2 Composition et mode d'emploi

Rappelons que les drèches peuvent être utilisés sous forme fraîche, ensilée ou déshydratée. Quelle que soit la forme, les drèches contiennent des glucides cytoplasmiques et pariétaux (cellulose), ainsi que des protéines, en proportions variées. Ainsi, ces sous-produits sont utilisés pour leurs concentrations en : matières sèches, énergie et protéines brutes. Cependant, la digestibilité de ces nutriments diminue avec les taux croissants de la drèche ensilée des brasseries. En d'autres termes, la diminution des coefficients de digestibilité apparente de ces nutriments est fonction des teneurs croissantes de la cellulose dans la ration (Ndindana *et al.*, 2002). De ce fait, on peut compléter la ration en faisant appel à d'autres aliments: tourteaux palmistes, fourrage, etc.

Par ailleurs, étant donné que les aliments constituent un facteur limitant dans les activités d'élevage, notamment celui des porcs en milieu urbain et périurbain, qui, de surcroît, sont omnivores comme les humains, l'emploi des drèches est capital pour les éleveurs de Bukavu. Aussi, au lieu de séparer les drèches des rejets de levures en brasserie, il est bon de les éliminer ensemble, en vue de pallier au déficit de divers intrants pour former des rations qui soient complètes, à donner au bétail. La littérature signale que la levure de bière peut être utilisée de façon directe dans l'alimentation des porcs pour un maximum de 2 litres par jour (16% matières sèches), chez le porc à l'engraissement comme chez la truie. N'ayant pas obtenu de précision sur les quantités de drèches et levures émises par la Bralima/Bukavu, nous allons nous servir des flux (drèches et levures) journaliers de la Brasserie 2 (7,25 m³/jour) (voir chapitre V), qui a le même mode de fonctionnement que celui de la Bralima, pour déterminer les flux journaliers de cette dernière. Pour un porc, la ration alimentaire est évaluée de 2 à 2,5 kg par jour. Du fait que la Bralima/Bukavu produit autour de 20 tonnes par jour du mélange drèches-levures, ceci desservirait un bétail d'au moins 10000 têtes. Ceci pourrait constituer un apport important en calories aux habitants de la ville, et influencerait les conditions socio-économiques des éleveurs.

8.5 Conclusion

Le déficit en infrastructures d'assainissements pour la RDC en général et Bukavu en particulier requiert l'application des technologies qui soient adaptées et innovatrices. Les différents projets d'assainissement devront se baser sur un caractère durable. Au vu de la corrélation entre l'espace et la conduite humaine, la conception de différents projets de construction ou réhabilitation (édifices, routes, lotissement, drainage, etc.) nécessite l'apport de diverses disciplines et de différents partenaires pour atteindre des résultats

escomptés. C'est pourquoi il est capital de considérer les perspectives et avis des citoyens bénéficiaires pour compléter l'analyse de la planification urbaine.

Face aux particularités édaphiques, climatiques et démographiques de Bukavu, l'emploi de l'ANC a montré ses limites. Pour le bien-être des populations et la conservation équilibrée des ressources naturelles, dont les eaux du lac Kivu, il est temps non seulement de songer à doter la ville, ou du moins les quartiers où l'ANC ne peut être mis en œuvre, d'un système d'assainissement collectif intégrant l'égouttage des effluents et aboutissant aux ouvrages de traitement, mais aussi de reconsidérer les déchets comme de la matière première, notamment sur base de leur potentiel énergétique et d'amendement de sols, au grand bénéfice des communautés.

Références bibliographiques

Badila L. (1995). L'exploitation de biogaz au Zaïre. Réunion d'experts nationaux en hydrologie et énergies nouvelles et renouvelables, organisée par le Conseil National de l'énergie. Colloque du 03 au 04/07/1995. Kinshasa (RDC).

Berrada G.M. (2007). Assainissement non collectif dans la province de Kenitra: Analyses et perspectives. Master spécialisé, Management et Ingénierie des Services d'Eau et d'Assainissement, Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement, Strasbourg, 83p.

Bigumandondera P. (2014). Etude de l'assainissement non collectif en Afrique subsaharienne: Application à la ville de Bujumbura. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 276p.

Bonomo L., Pastorelli G. and Zambon N. (1997). "Advantages and limitations of duckweedbased wastewater treatment systems." *Water Science and Technology* 35(5): 239-246.

Demeke S. (2007). Suitability of hay-box brooding technology to rural household poultry production system. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 19, Article #3. Retrieved August 31, 2011, from <http://www.lrrd.org/lrrd19/1/deme19003.htm>

Effebi K. R. (2008). Lagunage anaérobie: Modélisation combinant la décantation primaire et la dégradation anaérobie. Ph.D. Thesis, Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, 165 p.

Ellison R.A., Boots S.J. et Strange P.J.(1993). Geological mapping in urban areas. The BGS experience in London. *Episodes*, 16, (3), 383-388.

FAO (2012). Secteur Porcine République Démocratique du Congo. Revues nationales de l'élevage de la division de la production et de la santé animales de la FAO, Rome.

Franceys R. and Pickford J.(1995). On-plot sanitation in low-income urban communities: a review of literature. WEDC, Loughborough University, 81p.

Harerimana C. (2011). Modélisation de l'activité des bactéries du soufre en lagunage. Ph.D. Thesis, Faculté des Sciences, Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Liège, 218 p.

Ilunga L. (1977). L'érosion dans la ville de Bukavu. *Antennes*, revue du CERUKI, cinquième année, n°2, pp. 277-299.

Ilunga L. (1989). Problèmes géologiques d'aménagement dans la zone de Kadutu (ville de Bukavu, Zaïre). *Cahiers du CERUKI*, nouvelle série, n° 24, pp 40-51.

Kengne I. M. (2000). Evaluation d'une station d'épuration des eaux usées domestiques par lagunage à macrophytes à Yaoundé : performances épuratoires, développement et biocontrôle des Diptères *Culicidae*. Thèse de Doctorat de 3ème cycle, Université de Yaoundé I, 140p.

Kengne I. M. (2003). Les détails de la technique du lagunage. Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain: Comment aller plus loin dans le cas du Cameroun? Yaoundé/Cameroun, Programme "Gestion durable des déchets et de l'assainissement Urbain: 88-105.

Mindele U.L., Lina A.A, Ngahane E.L., Musibono E.D. et Vassel J.L. (2014). La valorisation des déchets ménagers organiques et des boues de vidange de fosses septiques par digestion anaérobie. *International Journal of Innovation and Scientific Research*. ISSN: 2351-8014. Article accepté et sous presse.

Moletta R. (2008). La méthanisation. Lavoisier, Paris, 532p.

Moletta R. (2002). Gestion des problèmes environnementaux dans les industries agroalimentaires, ed tec&doc, Paris, 600p.

Monzambe M. 2002. La problématique de la biométhanisation en République démocratique du Congo, ANSD volume 3, pp. 7-34 ; Kinshasa.

Muhigwa (2013). Perturbations climatiques autour de Bukavu. *Intergovernmental Panel on Climate Change*.

Ndindana W., Dzama K. and Ndiweni P.N.B., Maswaure S.M. and Chimonyo M. (2002). Digestibility of high fibre diets and performance of growing zimbabwean indigenous Mukota pigs and exotic Large White pigs fed maize based diets with graded levels of maize cobs. *Animal Feed Science and Technology*, 97:199-208.

Noyola A., Capdeville B., Roques H. (1988). Anaerobic treatment of domestic sewage with a rotating-stationary fixed film reactor. *Wat. Res.* **12**: 1585-1592.

Nsavyimana G. (2014). Modélisation des processus physiques et biologiques dans des fosses septiques et voie de valorisation des boues de vidange: application à Bujumbura-Burundi. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 427p.

Tangou T.T (2014). Etude et modélisation de la contribution des macrophytes flottants (*Lemna minor*) dans le fonctionnement des lagunes naturelles. Thèse de doctorat, Université de Liège, Unité Assainissement et Environnement, 225p.

Tréfois P., Moeyersons J., Lavreau J., Alimasi D., Badriyo I., Mitima B., Mundala M., Munganga D., Nahimana L. (2002). Rapport des travaux sur la géologie urbaine de Bukavu: Interaction entre la stabilité du sol et la pression démographique. MRAC, Inédit (Rapport final 2002 : projet sur la géologie urbaine de Bukavu), 67p.

République Démocratique du Congo, Service National des Statistiques Agricoles (SNSA), (2006). Rapport des activités. In FAO (2012). Secteur Porcine République Démocratique du Congo. Revues nationales de l'élevage de la division de la production et de la santé animales de la FAO, Rome.

UNEP (2013). Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo: Défis et opportunités. Rapport technique Nairobi, Kenya, 94p.

CONCLUSION GENERALE

La nature ne peut pas être considérée comme un simple cadre de vie car les êtres vivants, dans leur diversité, sont liés à elle de façon intime. La compréhension de la problématique de la pollution, conduit inéluctablement à l'analyse du fonctionnement de la société concernée, et vu le caractère complexe et transversal des questions y afférentes, il s'avère être difficile de trouver une réponse qui soit spécifique et indépendante à chaque partie du problème. Le travail que nous avons mené s'inscrit dans le cadre de la définition des pollutions produites dans la ville de Bukavu et de l'évaluation de leurs charges qui arrivent dans le lac Kivu. Parmi les tâches que le travail s'est assignées, on trouve entre autres la détermination de l'accessibilité des populations de Bukavu à l'eau et à l'assainissement de base en vue de la promotion de la santé des habitants, la quantification et la caractérisation des flux polluants domestiques et industriels générés et déversés quotidiennement dans le lac Kivu. En outre, le travail a visé à dénombrer et caractériser les taxons bactériens et parasitaires en circulation, à évaluer le fonctionnement de la station d'épuration de la Bralima/Bukavu en vue de son optimisation. Ce challenge devait faire l'objet d'une analyse critique de la situation de l'assainissement dans cette ville, et déboucher sur la mise en place d'un plan susceptible de susciter et booster les bonnes pratiques au sein des populations et des gouvernants dans le but de juguler les mauvaises pratiques.

Pour cela, une étude bibliographique a été menée afin de cerner les niveaux d'accès à l'eau potable et à l'assainissement de base par les populations en Afrique subsaharienne en général et en RDC en particulier, et de déterminer les traits saillants des caractéristiques physicochimiques et microbiologiques des effluents tant domestiques qu'industriels. De même, la ville de Bukavu a été décrite afin de comprendre les contraintes et les atouts naturels dans lesquels s'inscrivent les enjeux liés à l'eau potable et à l'assainissement. La recherche bibliographique a permis également de mettre en place une démarche exploratoire basée sur des méthodes simples pour atteindre les objectifs assignés dans cette thèse.

Ainsi avons-nous opté pour une vision holistique caractérisant la démarche méthodologique de nos recherches, intégrant des aspects d'un certain nombre de disciplines (sociologie, hydrologie et hydrogéologie, cartographie, microbiologie, ingénierie sanitaire et statistiques) afin de bien évaluer la situation sanitaire qui prévaut dans la ville, ainsi que les risques écologiques et environnementaux auxquels est exposé le lac Kivu. A l'issue de cette recherche, les résultats obtenus se déclinent en deux grandes catégories: gestion d'ANC et génie sanitaire.

Dans le cadre de l'accès à l'eau potable et à l'assainissement de base, la recherche menée a conduit à l'élucidation des interactions entre santé et environnement, planant au sein de Bukavu, en proie à une urbanisation anarchique. L'étude a mis en évidence divers symptômes, dont les déficits en systèmes d'approvisionnement en eau et assainissement améliorés, la recrudescence des maladies liées à l'eau, ce qui dénote de la gestion approximative ou d'une mauvaise gestion des ressources en eau. Les dimensions réduites des parcelles dans la plupart des cas, peuvent être considérées comme un facteur limitant concernant la mise en place d'un système efficace d'ANC comprenant les trois maillons (collecte, transport, dépotage/traitement de boues). A cette exigüité des parcelles occasionnée par l'hyper densification humaine et les contraintes physiques de la ville s'associent la quasi-absence des égouts dans plusieurs quartiers et l'accessibilité de bien des ménages par des piétons, faisant qu'il est difficile de faire fonctionner les maillons secondaire et tertiaire. En guise d'évaluation d'ANC, un indicateur global a été construit grâce aux analyses multicritères, notamment ELECTRE I qui a permis le classement de différentes technologies de chacun des indicateurs mis à contribution, et le *Composite Programming* intervenu dans l'agrégation des indicateurs en indicateur unique. Pour l'établissement de ce dernier, cinq indicateurs en lien avec les trois maillons constitutifs d'un système d'assainissement, ont été utilisés, en perspective de détermination des lacunes entachant la gestion des eaux usées.

En rapport avec les travaux de la caractérisation des effluents (domestiques et industriels) et pour se conformer aux principes du génie sanitaire, qui vise à traiter des charges et non des concentrations quand on parle des pollutions, un accent particulier a été mis les mesures des débits, au niveau des rivières, des exutoires domestiques et industriels. Les rivières de Bukavu sont caractérisées par des débits relativement faibles en saison sèche, avec des moyennes allant de 112 l/s (Bwindi) à 182 l/s (Kahwa). En saison de pluie, ces rivières se comportent en torrents, les moyennes des débits obtenus dans la limite de la méthode au Ful à bulles utilisée, sont de 190 l/s (Bwindi) à 340 l/s (Kahwa). Effectué en saison sèche, l'essai des tarages sur ces rivières affiche des courbes qui s'adaptent aux équations de type exponentiel avec des coefficients de détermination (R^2) de débits en fonction des profondeurs de 0,701 (Bwindi), 0,784 (Tshula), 0,879 (Wesha) et 0,949 (Kahwa). Une augmentation de 15 à 20 cm de niveaux d'eau dans ces rivières est capable d'entraîner le dédoublement des débits. Quant aux flux évacués, les rivières traversant la ville de Bukavu se comportent en égouts à ciel ouvert, constituant des moyens d'évacuation par excellence des déchets de différentes natures, générés dans cette ville où les systèmes classiques d'assainissement sont amputés des maillons intermédiaire et aval. Globalement, pour le volet physicochimique, de grosses charges de pollutions sont évacuées par la Kahwa: 44621 kg.j⁻¹ de DCO, 20244 kg.j⁻¹ de DBO₅, 22932 kg.j⁻¹ de MES, 1179 kg.j⁻¹ d'azote total (NT) et 246 kg.j⁻¹ de phosphore total (PT), correspondant à 381118 EH DCO, 372818 EH DBO₅, 368863 EH MES, 111210 EH NT et 55754 EH PT. Ses charges, représentant le double des charges obtenues dans chacune des autres rivières (Bwindi, Tshula et Wesha), font d'elle le principal

exutoire des déchets générés dans la ville. Quatre des cinq collecteurs (émissaires) domestiques étudiés y aboutissent (ITFM, Rukumbuka, PIR et Nyamugo). De ces cinq collecteurs, Rukumbuka est le plus important, évacuant quotidiennement autour de 10 tonnes de DCO, équivalant à 83589 équivalent habitants. Autant que pour les rivières, la longueur et la densité des ménages drainés justifient l'importance des pollutions.

Du point de vue microbiologique, les mêmes tendances relevées pour le volet physicochimique ont été constatées. Les recherches ont révélé qu'à 1 EH DBO₅ évacué au niveau des rivières correspondent des flux de l'ordre de 9 unités logarithmiques pour les coliformes fécaux et *E. coli*, et de l'ordre de 8 (Kahwa et Tshula) à 9 (Bwindi et Wesha) unités logarithmiques pour les streptocoques fécaux, alors que les dénombrements des *Clostridium* sulfito-réducteurs ont été moins prolifiques. Les ratios CF/SF font état de la contamination fécale des eaux desdites rivières d'origine principalement humaine, hormis la rivière Bwindi qui fait l'objet de contamination fécale à dominante animale. A cause de la faiblesse caractérisant les taux d'égouttage, la saison de pluie constitue le moment pendant lequel de grosses pollutions sont rejetées. En amont des rivières, précisément au niveau des exutoires domestiques, il a été révélé de grosses teneurs des contaminants fécaux qui alimentent les rivières. En rapport avec les éléments parasitaires, l'étude a mis en évidence la présence de 11 parasites qui sont en circulation dans la ville de Bukavu, car il a été diagnostiqué la quasi-totalité de ces parasites à tous les niveaux d'étude (les rivières, les exutoires/collecteurs domestiques et les selles des enfants en âge préscolaire), il s'agit de: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Entamoeba coli*, *Ascaris sp.*, *Ankylostoma sp.*, *Strongyloides sp.*, *Trichuris trichiura*, *Taenia saginata*, *Hymenolepis diminuta*, *Hymenolepis nana* et *Schistosoma mansoni*. Parmi ces espèces, *A. lumbricoides* s'est illustrée comme la plus distribuée et la plus abondante.

Par ailleurs, les deux industries (brassicole et pharmaceutique) ont été caractérisées par des flux importants de pollutions émis. Au niveau de la Bralima/Bukavu (brasserie), avec une production moyenne journalière de boissons chiffrée à 1852 hl, la consommation spécifique de l'eau est centrée sur une moyenne de 5,1 l/l, la plage étant de 4,7 à 5,7 l/l et associée aux variations de productions. Ceci montre que la Bralima/Bukavu fournit des efforts considérables pour maintenir le cap d'une bonne consommation d'eau. La moyenne des débits de rejets d'eaux usées calculée varie entre 420,6 m³/j (2013) et 443,1 m³/j (2014). Evaluée à 2194,1 kg/j, la charge globale de DCO représente 18740 EH, alors que la charge en MES (soit 248,3 kg/j) forme 3994 EH, partant des charges de référence trouvées au Burundi (1 EH=117,08 g O₂/l DCO; 1 EH=62,17 g O₂/l MES), tandis que la charge en azote total (22,4 kg/j) peut être traduite en 2109 EH de par la valeur de 10,6 g.EH⁻¹ appliquée en Belgique. Par contre, la charge spécifique varie de 1 à 1,4 kg DCO par 1 hl de boissons produit (complexe bière-limonade), et de 0,1 à 0,2 kg MES par hectolitre de produit fabriqué. Même si les valeurs minimales de ces variations s'écartent légèrement des valeurs de référence (normatives), les charges spécifiques en général sont dans les seuils attendus

d'une brasserie de cette taille. Consciente de cette responsabilité, la Bralima/Bukavu s'est dotée d'une *Step*, qui a présenté des charges volumiques variant de 0,3 à 2,5 kg DCO/m³/j, les rendements de l'abattement de la DCO dépassant 90%, avec une DCO résiduelle faible lorsque les charges volumiques appliquées sont comprises dans le domaine autour de 2 kg DCO/m³.j. Les rendements sur l'azote étaient inférieurs à ceux notés sur la DCO, alors que les rendements sur MES nécessitent une amélioration. Aussi, les normes de la Bralima/Bukavu devraient être revues et se conformer aux standards internationaux. Quant à la Pharmakina (industrie pharmaceutique), tenant compte de 21 jours de production par mois, les moyennes des pollutions sont de l'ordre de 1229,2 kg/j (DCO); 424 kg/j (DBO₅); 281,3 kg/j (MES); 15,6 kg/j (NT) et 1,6 kg/j (PT). Pour les charges spécifiques, les flux sont également importants, dont notamment, par kg de sulfate pharma produit, 5,2 kg (DCO); 1,8 kg (DBO₅) et 1,2 kg (MES), 0,1 kg (azote total) et 0,01 kg (phosphore total), alors que les charges spécifiques connaissent pour la production de chlorhydrate de quinine, par 1 kg fabriqué, une hausse de 36,6% (DCO), 35,7% (DBO₅) et 36,8% (MES) des pollutions déversées dans le lac par rapport aux flux imputables à la production du sulfate pharma. Notons que l'industrie pharmaceutique déverse dans le lac des rejets bruts, qui représentent d'énormes menaces pour cet écosystème lacustre et pour la santé des habitants qui en dépendent directement ou indirectement.

Notons, en outre, l'importance des analyses que nous avons menées, sur les possibilités de l'amélioration de l'assainissement dans la ville, et soldées par la nouvelle approche à accorder aux déchets, notamment en faisant la promotion de l'exploitation du pouvoir énergétique des effluents urbains et des déchets brassicoles dans l'élevage porcin.

Pour boucler cette conclusion, du fait que les textes normatifs et standards appliqués sont anciens, obsolètes et non adaptés au nouveau contexte de la RDC, les domaines de responsabilités ne sont pas clairement définis, débouchant sur un chevauchement de compétences, une conflictualité de mandats et une compétition institutionnelle, dont l'ensemble traduit la mauvaise gouvernance qui peut être considérée comme la principale cause de la dégradation rapide de l'environnement, c'est à l'Etat, de par sa fonction régaliennne, qu'incombe l'ambitieuse tâche de la mise en place d'un cadre juridique et réglementaire de la gestion de l'eau.

La crise environnementale et écologique, dont les symptômes sont décrits dans cette thèse, tire son origine première des habitants de Bukavu, donc de l'homme. Il ne servira pas à grand-chose si on se limite à doter le pays ou la ville de beaux textes, des édits et lois. Un travail considérable devra être réalisé par les habitants, afin de comprendre que le cadre dans lequel ils vivent, doit être perçu comme un patrimoine, dont la notion entraîne celle du développement durable. Celui-ci se justifie par la nécessité d'une justice intergénérationnelle, laquelle doit être précédée par une justice intra-générationnelle. D'où

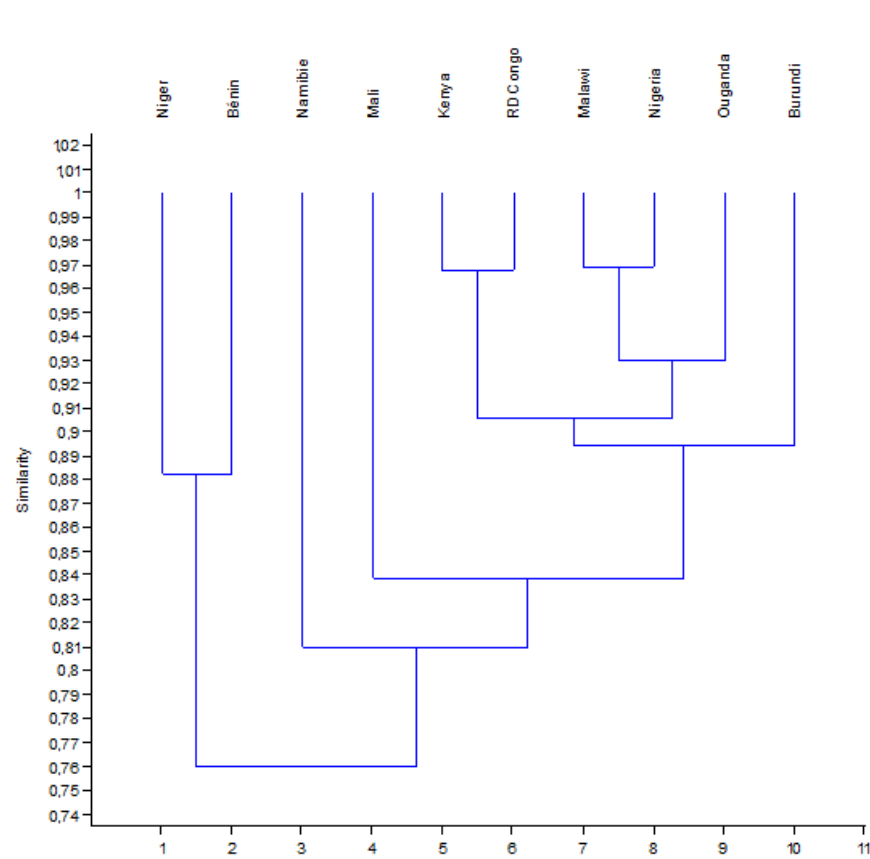
l'impérieuse nécessité de transfert des connaissances et des expériences entre le Nord et le Sud.

Au terme de cette étude, des perspectives se profilent pour la suite du travail à entreprendre, notamment: étudier la nature des sols et la profondeur de la nappe phréatique en vue de mettre en place des systèmes efficaces d'assainissement et d'éventuels emplois de l'eau souterraine pour remédier au sous-alimentation de l'eau potable dans la ville; maîtriser les débits, surtout en saison humide, pour compléter nos données et arriver à l'établissement des courbes de tarage définitives des rivières de cette ville; reconsidérer les déchets sous l'angle de la matière première, notamment sur base de leur potentiel énergétique et fertilisant, au grand bénéfice des communautés; mettre en place un système de monitoring de la caractérisation des effluents produits dans la ville, ce qui nécessiterait absolument l'installation dans la ville d'un laboratoire approprié; mener des études similaires au niveau du lac Kivu pour établir le niveau d'altération de ses eaux et surtout le devenir des polluants qui y arrivent dans le contexte des enjeux liés à la problématique des atteintes des ressources halieutiques et des menaces que représentent les réserves en gaz méthane qui baignent dans ce lac; l'Etat étant un partenaire majeur dans la gestion de l'eau, inciter à la gouvernance locale ou nationale par le vote des édits et lois susceptibles de promouvoir, encadrer et orienter les actions et programmes liés aux systèmes améliorés du domaine d'EHA (Eau, Hygiène et Assainissement), dont le rétablissement des digesteurs, la réhabilitation des réseaux d'égouts et des stations d'épuration, la réalisation du projet d'installation du landfill à Cidaho.

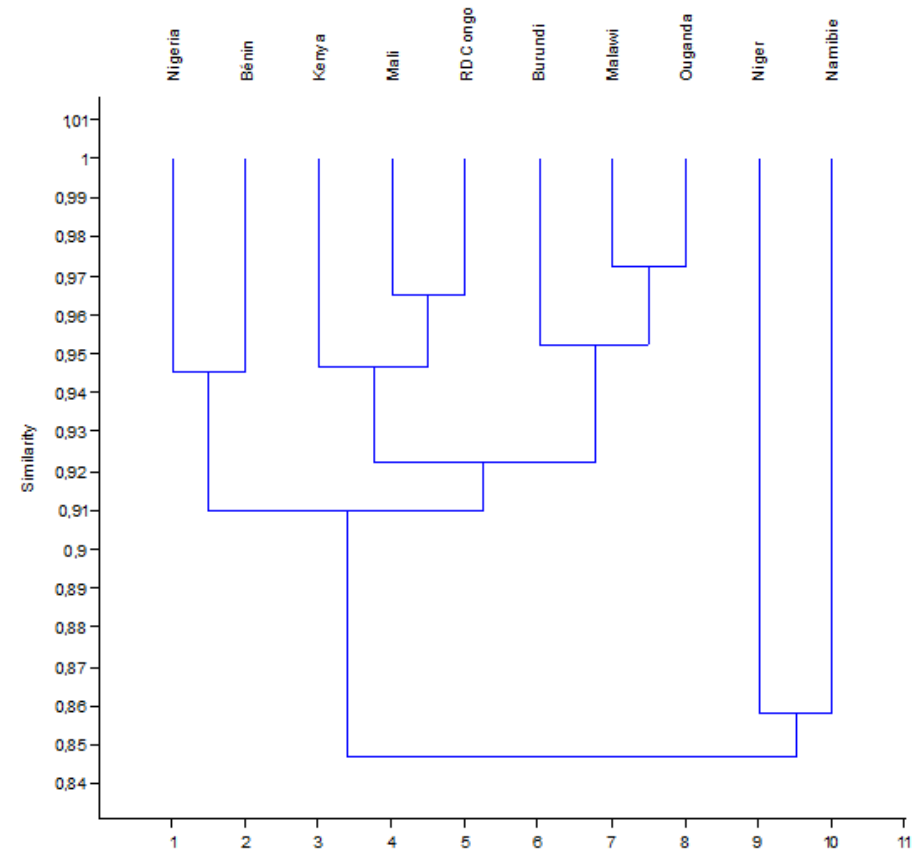
L'objectif étant en partie atteint car nous sommes parvenus à caractériser les flux des pollutions arrivant dans le lac par des méthodes simples en vue d'amélioration des connaissances sur la qualité environnementale et les risques sanitaires à Bukavu, nous croyons que ce travail constitue une contribution à la problématique de la gestion de l'eau dans les villes des pays en voie de développement.

ANNEXES

ANNEXE 1 Degrés de similarité entre quelques pays subsahariens concernant l'accès à l'eau et à l'assainissement en 2000 et 2011



An 2000



An 2011

ANNEXE 2. Aspects statistiques globaux de diverses pratiques d'accès à l'eau et à l'assainissement pour les pays subsahariens retenus

	SC	DI	SC	dl	F	signif.
1Populations urbaines	1573,100	6	73,0000	3	10,77465	0,038718
2Total points eauaméliorés	550,900	6	76,0000	3	3,62434	0,158970
3Branchementdomestique	2405,100	6	412,4999	3	2,91527	0,204269
4Autrespointsaméliorés	1714,400	6	258,5000	3	3,31606	0,176399
5Nonaméliorés	355,100	6	19,0000	3	9,34474	0,047079
6Eauesurface	25,400	6	25,0000	3	0,50800	0,779816
7Total points eauaméliorés	1781,500	6	161,0000	3	5,53261	0,094318
8Branchements domestiques	1263,100	6	98,5000	3	6,41167	0,077926
9Autrespointsaméliorés	1528,600	6	89,4999	3	8,53968	0,053209
10Nonaméliorés	1563,000	6	179,0000	3	4,36592	0,126990
11Eauesurface	194,500	6	310,0000	3	0,31371	0,894456
12urbainassainissement amelioré	746,100	6	168,0000	3	2,22054	0,273675
13Installations partagées	847,400	6	53,5000	3	7,91963	0,058897
14Installations nonamliores	1151,900	6	92,5000	3	6,22649	0,080966
15Défécation enpleinair	793,400	6	73,0000	3	5,43424	0,096507
16Assainissement national amélioré	1345,100	6	331,0000	3	2,03187	0,299376
17Installations partagées	546,600	6	97,0000	3	2,81753	0,212179
18Installations nonaméliorées	1753,100	6	547,0001	3	1,60247	0,374888
19Défécation enpleinair	5482,600	6	484,9999	3	5,65217	0,091767

ANNEXE 3 Synthèse en matière de gestion des eaux usées et excréta en Afrique subsaharienne

Villes/Pays	Utilisation de l'ANC (en %)	Ouvrages d'ANC	Déversement EU ménagères	Mode de vidange	Lieu de dépotage des boues vidangées
Bouaké (Côte d'Ivoire)	95,6	Humides (47,4%) ou secs (52,6%)	Puits perdants (42%), FS (32%), rue (26%)	Manuelle (60%), mécanique (40%)	Clandestin (79,7%), agricole (18,1%), autorisé (2,2%)
Bulawayo (Zimbabwe)	100	Défécation en plein air (61%), FS (6,5%), LT (19,6%), latrines publiques (12,9%)	-	-	-
Bujumbura (Burundi)	-	FS, LT, latrine à siphon, sans latrine	Caniveaux, puits perdants, FS	Mécanique, manuelle, autre fosse	Station d'épuration ou autre
Dar es Salam (Tanzanie)	93,5	LT (81%), VIP (2%), FS (9,5%), aucun (1%)	LT ou caniveaux (78,5 %), FS (15%)	Mécanique ou manuelle (67,3%), autre fosse (22,7%)	Enterrées sur le site ou dépotage en station d'épuration
Debré-Behan (Ethiopie)	-	Latrines privées (41%), simple trou foré (26%), défécation en plein air (19%), latrines publiques (14%)	-	Mécanique (55%), aucun système de collecte d'excréta (45%)	Dépotage dans un trou aménagé par la municipalité en dehors de la ville
Nouakchott (Mauritanie)	90	Latrines sèches (47,9%), FS (40,5%), latrines sèches utilisées comme douche (11,6%)	Fosse ou puisard (57,9%), rue (42,1%)	Mécanique (46,3%), manuelle (32,2%)	Agricole ou clandestin
Yaoundé (Cameroun)	-	LT (95%)	Caniveaux principalement	Vidange (15%), autre fosse (80%), 5% indécis	Caniveaux

ANNEXE 4 Questionnaire d'enquête

I. L'eau et typologie des ouvrages assainissement

Ce questionnaire s'inscrit dans le cadre de la recherche de thèse sur le thème : **Evaluation des charges polluantes (domestiques et industrielles) arrivant au lac Kivu dans la ville de Bukavu, RD 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

Nom de la commune.....QuartierCarré N°.....

Maison.....Nombre d'habitants.....

Nom et prénoms de l'enquêté (Facultatif).....

Age de l'enquêté.....

Sexe : 1-1-M ☐ 1-2- F ☐

Niveau d'instruction

1-3-Primaire:1 ☐ Secondaire:1-5-Su ☐ ieur : 1-6-Alph ☐ ète1-7- Analphabète: ☐

1-8-Quelles sont vos activités

professionnelles?.....

1-9-Quels sont vos revenus ?.....

II – SOURCE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU ET USAGES

Quelles sont vos sources d'approvisionnement en eau?

2-1-Pluie ☐ 2-2-Puits ☐ 2-3-Lac ☐ 2-4-Citerne ☐ 2-5- O.P. (Organisme Public ou Privé) ☐ 2-6-fontaine public ☐

☐
2-7-Autres sources (à préciser)

Quel est l'aspect de l'eau que vous utilisez ?

	Pluie (2-1)	Puits (2-2)	Lac (2-3)	Citerne (2-4)	Regideso (2-5)	Fontaine publ. (2-6)	Autres sources (2-7)
2-7' claire							
2-8 boueuse							
2-9 trouble							

La quantité d'eau disponible est-elle suffisante.

	Pluie (2-1)	Puits (2-2)	Lac (2-3)	Citerne (2-4)	Regideso (2-5)	Fontaine publ. (2-6)	Autres sources (2-7)
2-10 toute l'année							
2-11 une partie de l'année							
2-12 insuffisante							
2-13 cela dépend							

Utilisez-vous plusieurs sources d'approvisionnement

2-14 : ☐

2-15 : ☐

	Boisson (2-16)	Cuisson (2-17)	Lessive (2-18)	Vaisselle (2-19)	Douche (2-20)	Arrosage (2-21)	Nettoyage (2-22)	Autres (2-23)
Pluie (2-1)								
Puits (2-2)								
Lac (2-3)								
Citerne (2-4)								
Regideso (2-5)								
Fontaine Publi. (2-6)								
Autres sources (2-7)								

2-24-Pourquoi ?.....

Enregistrez-vous des périodes de pénurie d'eau ?

2-25- Oui ☐ 2-26- Non

☐

2-27-Lesquelles ?.....

Etes-vous abonnés à la O.P. ?

2-27- Oui ☐

2-28- Non ☐

Si oui, revendez-vous l'eau de la O.P. ?

2-29- Oui ☐

2-30- Non ☐

2-31-Si oui, quel est le coût moyen d'un seau ou récipient d'eau (capacité) ?.....

2-32-Combien de personnes en moyenne, desservez- vous par jour?.....

2-33-Quel est le montant de vos revenus moyens par mois ?.....

2-34-Quel est en moyenne le montant de vos bénéfices ?.....

Si vous n'êtes pas abonnés, achetez-vous l'eau du réseau d'adduction de la O.P. chez les abonnés ?

2-35- Oui ☐

2-36- Non ☐

Quelle quantité d'eau de la O.P. consommez-vous en moyenne (nombre de réipients) ?

2-37-Jour...../2-38-semaine...../2-39-mois.....

Quel est le coût moyen ?

2-40-Jour...../2-41-semaine...../2-42-mois.....

Ce coût varie-t-elle souvent ?

2-43- Oui ☐

2-44- Non ☐

2-45-Si oui, de combien à combien ?.....

2-46- Quelle quantité d'eau des autres sources utilisez-vous (nombre de réipients) ?.....

III – HYGIENE ET ASSAINISSEMENT

Conservez-vous les eaux de ces différentes sources ?

3-1- Oui ☐

3-2- Non ☐

Si oui, quels sont les réipients utilisés pour cette conservation ?

3-3-Jarre ☐

3-4-Bassine ☐

3-5-Seau3-6-Bidon ☐

3-7-Tonneau ☐

3-8-Citerne ☐

☐

3-9-Autres (à préciser).....

L'eau de ces réipients est-elle couverte hermétiquement ?

3-10-Oui ☐

3-11- Non ☐

3-12-Si non, pourquoi ?.....

Comment entretenez-vous ces réipients de stockage?

3-13- Lavage à l'eau + éponge + savon ☐ 3-14- Lavage à l'eau seul ☐

3-15- Rinçage à l'eau uniquement 3-16-Lavage à l'eau + éponge + savon +rinçage

Renouvelez-vous l'eau conservée ?

3-17- Oui ☐

3-18- Non ☐

Si oui, quelle est la durée de la conservation ?.....

3-19- Un jour ☐ 20- Deux jours ☐ 21- Une semaine 3-22 ☐ elle dépend ☐

Si vous utilisez l'eau de puits, disposez-vous d'un puits ?

3-23- Oui ☐

3-24- Non ☐

Si oui, le puits est-il protégé ?

3-25- Oui ☐

3-26- Non ☐

Apportez-vous de traitements à l'eau avant la consommation?

3-27- Oui ☐

3-28- Non ☐

Si oui, lesquels ?

3-29-Eau de javelle ☐

3-30- Sulfate d'alumine (Alun : $Al_2(SO_4)_3$) ☐

3-31- Pots diffuseurs d'hypochlorite de calcium (puits) ☐

3-32- Chauffage ☐

3-33-Autres.....

3-34-Si oui, pensez-vous que l'utilisation de ces traitements a-t-elle des effets sur votre santé ?

Lesquelles ?.....

3-35-Si non pourquoi ?.....

3-36- A quelle distance se trouve le puits de votre lieu d'aisance ?.....

3-37-Commentaire.....

3-38- A quelle distance se trouve le lieu de votre ravitaillement en eau de la O.P. ?.....

3-39-Comment la transportez-vous à votre domicile

3-40-Quelles sont les mesures de protection prises dans le transport de cette eau de la O.P. ?.....

3-41-Si non, pourquoi ?.....

Où jetez-vous les déchets ménagers et les eaux usées domestiques ?

Déchets ménagers	Ordures ménagères	Eaux usées domestiques
Lieu de déversement		
3-42-A côté de la maison		
3-43-Dans la cour de la maison		
3-44-Sur une parcelle vide		
3-45-Dans la poubelle		
3-46-Sur la place publique		
3-47-Enterrés dans la cour de la maison		
3-48-Dans les cours d'eau		
3-49-Dans les caniveaux		
3-50-Sur les voies		
3-51-Marécages		
3-52-Autres		

3-53-Pourquoi ?.....

3-54-Utilisez-vous les ordures ménagères dans les activités agricoles ou maraîchères ?

3-55- Oui ☐

3-56- Non ☐

3-57-Si oui, lesquelles et comment (compost, ...) ?.....

IV- MALADIES HYDRIQUES

Pensez-vous que la consommation de l'eau de qualité douteuse peut-être source de maladies ?

4-1- Oui ☐

4-2- Non ☐

4-3- Si oui, quelles sont les maladies hydriques que vous connaissez (choléra, diarrhée, affections gastro-intestinales, autres) ?

4-4-Desquelles souffrez-vous souvent.....

4-5- Desquelles souffrez-vous parfois.....

Vous soignez-vous dans les centres de santé ?

4-6- Oui ☐

4-7- Non ☐

4-8-Pourquoi ?.....

4-9- A combien vous revient chaque traitement ?

Avez-vous toujours les moyens financiers pour payer les soins et acheter les médicaments ?

4-10- Oui ☐

4-11- Non ☐

4-12-Si non, quelles sont les mesures que vous prenez ?

.....Pensez-vous qu'elles sont les plus convenables à votre santé ?

4-13- Oui ☐

4-14- Non ☐

4-15-Pourquoi ?.....

4-16-Quelles sont vos suggestions pour une bonne alimentation en eau ?

X - ACCESSIBILITÉ A LA MAISON

10-1- Distance entre la maison enquêtée et la route Principale (goudronnée) : mètres

10-2- La maison est-elle accessible en voiture ? Oui ☐ Non ☐

☐

10-3- La maison est-elle accessible en moto ? Oui ☐ Non ☐

10-4- Type de voie d'accès :

☐

Route en terre

☐

Route goudronnée

☐

Chemin piéton

10-5- Etat de la voie d'accès :

☐

Bien aménagée

☐

Dégradée

☐

Très dégradée

10-6- Existe-t-il des difficultés d'accès à la maison ou concession ? Oui ☐

Non ☐

10-7- Si oui sont-elles permanentes ou temporaires ?

☐
☐

Permanente

Temporaire

XI - ASSAINISSEMENT INDIVIDUEL

11-1- Quel est le mode d'assainissement des excréta dont dispose le ménage :

☐

Latrines traditionnelles à fond perdu

☐

Toilettes modernes avec fosse septique et/ou puisard

☐

Latrines à chasse manuelle

☐

Latrines VIP

☐

Latrines à canon

☐

Toilette sèche

☐

Autres (à préciser)

11-2- Est-ce que les latrines sont elles aussi utilisées pour se doucher ? Oui

☐

Non

☐

11-3 - S'il s'agit d'une latrine, état de finition de ces latrines :

☐

Bien aménagée

☐

Assez bien aménagée

☐

Non aménagée

11-4- La latrine présente-t-elle des problèmes ? Ou

☐

Non

☐

11-5 - Si oui, quels sont les problèmes que pose cette latrine actuellement ?

11-5-1 Accès :

☐

Ouvrage enclavé sale

☐

Accès accidenté

☐

Accès sale

☐

Autres (à préciser).....

11-5-2 Confort :

☐

Odeur

☐

Insécurité

☐

Pas d'intimité

☐

Autres (à préciser)

11-5-3 Hygiène :

☐

Proximité des ordures

☐

Proximité d'un puits ou d'une source

☐

Rat, cafard et mouche

☐

Eaux usées stagnantes

☐

Autres (à préciser)

11-5-4 Gestion

☐

Proximité des ordures

☐

Proximité d'un puits ou d'une source

☐

Rat cafard et mouche

☐

Eaux usées stagnantes

☐

Autres (à préciser)

11-6 Y-a-t'il possibilité de procéder à des prélèvements ? Oui ☐

Non ☐

11-7- Que ferez-vous en cas de remplissage de votre fosse ?

☐

Réalisation d'une autre fosse

☐

Vidange

☐

Autres (à préciser)

11-8 - Si c'est la vidange, comment cela se fait-il ?

☐

Camion spécialisé

☐

Manuellement

☐

Autres (à préciser)/

11-9- Quels sont les critères qui président au choix du type de vidange ?

- ☐ Coût
- ☐ Qualité de service
- ☐ Accessibilité
- ☐ Autres (à préciser)

11-10- Si c'est la vidange manuelle, qui le fait ?

- ☐ Membres de la famille
- ☐ Tâcheron
- ☐ Autres (à préciser) :

11-11- Avez-vous déjà effectué une vidange ? Oui ☐ Non ☐

11-12 - Si oui, combien de fois déjà ? Fois

11-13 - Quand remonte la dernière vidange ?

- ☐ moins de 6 mois
- ☐ 1 an
- ☐ 2 ans
- ☐ plus de 2 ans

11-14 Combien vous a coûté cette vidange ?

11-15- Que pensez-vous de ce Tarif ?

- ☐ Très cher
- ☐ Cher
- ☐ Abordable
- ☐ Bas
- ☐ Autres (à préciser) :

ANNEXE 5 Résultats des débits et paramètres physicochimiques et microbiologiques

Débit (l/s)

Saison sèche

<i>River</i>	<i>Heures</i>	<i>Jours</i>					
		1	15	29	43	57	71
Bwindi	7h	117	124	119	111	107	124
	8h	124	118	115	108	102	136
	9h	120	119	114	104	106	128
	10h	121	125	111	103	104	124
	11h	114	120	118	101	103	120
	12h	119	117	112	97	100	114
	13h	124	115	107	95	103	119
	14h	119	119	105	96	104	125
	15h	116	124	109	62	96	124
	16h	117	121	104	93	97	130
	17h	113	122	106	91	102	132
	18h	117	123	103	94	96	124
Tshula	7h	139	134	127	117	108	132
	8h	140	131	121	113	106	127
	9h	144	124	114	109	94	126
	10h	129	118	103	106	86	118
	11h	131	115	95	101	94	124
	12h	124	119	99	104	99	117
	13h	122	124	96	113	106	116
	14h	126	116	94	120	102	125
	15h	119	113	105	116	105	127
	16h	126	119	106	107	100	132
	17h	120	129	113	102	104	136
	18h	128	117	117	94	111	138
Wesha	7h	121	136	122	132	119	142
	8h	132	131	129	126	115	140
	9h	114	122	120	104	109	137
	10h	117	115	101	92	113	131
	11h	109	102	97	103	95	143
	12h	114	106	103	108	91	144
	13h	119	124	116	107	92	117
	14h	106	117	112	93	97	123
	15h	104	109	94	100	99	132
	16h	117	109	99	91	107	124
	17h	128	125	119	124	112	122
	18h	124	138	118	122	111	118
Kahwa	7h	242	228	204	174	161	199
	8h	234	220	205	171	160	184
	9h	231	220	193	166	152	177

10h	217	209	189	166	153	182
11h	204	204	181	153	147	173
12h	203	207	183	152	150	174
13h	200	200	174	151	146	168
14h	211	200	198	154	143	168
15h	204	204	191	157	142	172
16h	203	201	184	150	145	179
17h	204	199	180	154	140	184
18h	202	194	180	162	140	180

Saison humide

<i>River</i>	<i>Heures</i>	<i>Jours</i>					
		1	15	29	43	57	71
Bwindi	7h	169	149	229	245	152	152
	8h	195	186	166	207	199	175
	9h	184	171	158	202	207	180
	10h	172	200	143	175	205	178
	11h	179	140	267	242	215	178
	12h	192	134	216	165	217	183
	13h	169	140	220	239	181	182
	14h	203	177	219	242	199	200
	15h	181	163	256	190	181	184
	16h	172	153	206	225	218	188
	17h	162	149	195	225	197	193
	18h	164	179	190	208	191	209
Tshula	7h	291	149	237	236	221	220
	8h	231	139	197	219	158	267
	9h	283	204	178	199	249	214
	10h	238	165	281	212	241	256
	11h	237	160	287	176	275	248
	12h	285	204	261	214	220	228
	13h	170	223	231	249	238	181
	14h	155	184	223	246	249	189
	15h	154	246	266	268	245	286
	16h	202	247	225	249	225	254
	17h	158	208	233	286	142	185
	18h	170	226	289	267	195	201
Wesha	7h	246	141	184	197	196	223
	8h	247	131	219	203	220	205
	9h	173	126	198	223	297	216
	10h	195	237	202	230	244	181
	11h	201	285	263	266	254	260
	12h	203	136	296	291	213	296
	13h	202	145	156	303	155	113
	14h	194	160	192	307	145	195
	15h	204	206	184	319	127	194

Kahwa	16h	201	218	191	175	203	294
	17h	188	226	273	171	230	292
	18h	199	210	294	155	190	160
	7h	236	282	396	220	328	484
	8h	285	296	453	228	317	448
	9h	367	309	486	267	295	504
	10h	372	314	466	318	288	324
	11h	410	295	469	469	265	409
	12h	377	329	419	437	278	501
	13h	254	308	420	217	277	384
	14h	251	342	217	469	287	185
	15h	261	275	211	471	230	189
	16h	248	294	360	198	433	270
	17h	245	317	447	212	461	293
	18h	463	344	488	478	456	307

Physicochimie

Saison sèche

<i>Bwindi</i>		<i>Jours</i>	pH	Te	Co	DCO	DBO5	NT	PT	MES
<i>Bwindi</i>	<i>Sèche</i>	1	8,4	22,5	334	438	199	11	1,3	276
<i>Bwindi</i>	<i>Sèche</i>	15	8,1	23,7	209	496	234	16	0,9	379
<i>Bwindi</i>	<i>Sèche</i>	29	8,8	24,5	406	700	348	17	1,1	512
<i>Bwindi</i>	<i>Sèche</i>	43	7,9	23,8	400	512	202	14	0,8	400
<i>Bwindi</i>	<i>Sèche</i>	57	8,4	22,6	378	345	106	20	0,9	198
<i>Bwindi</i>	<i>Sèche</i>	71	7,4	24,6	504	529	240	26	2,1	397
<i>Tshula</i>	<i>Sèche</i>	1	7,8	22,5	624	802	358	21	4,2	410
<i>Tshula</i>	<i>Sèche</i>	15	8,2	24,1	771	713	299	30	7,5	401
<i>Tshula</i>	<i>Sèche</i>	29	8,4	23,9	593	555	217	24	8,1	338
<i>Tshula</i>	<i>Sèche</i>	43	8,4	24,7	476	463	222	19	3,8	384
<i>Tshula</i>	<i>Sèche</i>	57	7,9	24,6	407	704	309	15	6,2	499
<i>Tshula</i>	<i>Sèche</i>	71	8,5	23,7	655	678	349	31	5,4	525
<i>Wesha</i>	<i>Sèche</i>	1	8,4	24,2	501	762	338	18	3,7	416
<i>Wesha</i>	<i>Sèche</i>	15	8,7	26,1	762	418	266	16	5,4	370
<i>Wesha</i>	<i>Sèche</i>	29	8,6	22,7	453	493	246	27	2,8	408
<i>Wesha</i>	<i>Sèche</i>	43	8,3	26,7	633	574	269	23	3,3	378
<i>Wesha</i>	<i>Sèche</i>	57	7,7	24,2	570	534	323	16	2,9	411
<i>Wesha</i>	<i>Sèche</i>	71	7,8	25,6	604	600	407	25	6,7	501
<i>Kahwa</i>	<i>Sèche</i>	1	8,6	25,6	874	904	400	33	7,7	531
<i>Kahwa</i>	<i>Sèche</i>	15	7,6	26,3	905	644	275	21	5,9	504
<i>Kahwa</i>	<i>Sèche</i>	29	8,1	23,1	665	756	262	27	8,6	462
<i>Kahwa</i>	<i>Sèche</i>	43	8,7	27,6	830	941	304	18	6,3	517
<i>Kahwa</i>	<i>Sèche</i>	57	8,2	26,3	764	1004	337	19	6,7	507
<i>Kahwa</i>	<i>Sèche</i>	71	7,4	27,2	1111	1472	701	24	9,1	569

Saison humide

Rivière Bwindi			pH	Te	Co	DCO	DBO5	NT	PT	MES
Bwindi	Humide	1	7,2	24,4	827	637	228	18,1	2,9	319
Bwindi	Humide	15	7,8	24,9	751	655	241	20,8	2,2	307
Bwindi	Humide	29	7,6	24,8	1016	991	430	22,3	2,4	496
Bwindi	Humide	43	8,6	22,8	1026	1231	519	28,1	2,8	661
Bwindi	Humide	57	8,1	21,4	975	658	215	20,4	1,9	321
Bwindi	Humide	71	7,7	18,4	892	560	256	15,4	2,4	364
Tshula	Humide	1	8,15	23,99	866	751	309	22,8	2,4	333
Tshula	Humide	15	8,08	24,81	794	535	228	22,2	2	291
Tshula	Humide	29	8,8	23,24	1059	1099	515	32,7	3,6	557
Tshula	Humide	43	8,52	23,24	1048	1150	479	28,9	4	504
Tshula	Humide	57	9,05	20,9	989	671	247	20,5	2	307
Tshula	Humide	71	8,3	21,7	1027	802	372	24,3	3,4	534
Wesha	Humide	1	8,4	24,5	883	796	338	23,4	2,6	341
Wesha	Humide	15	8,9	24,2	778	689	297	29	2,8	314
Wesha	Humide	29	8,7	23,1	1051	763	332	22,1	2,9	368
Wesha	Humide	43	8,4	22,6	1093	1218	593	33,4	4	625
Wesha	Humide	57	8,8	21,1	994	817	352	25	3,1	378
Wesha	Humide	71	7,9	26,2	1052	724	369	22	2,9	402
Kahwa	Humide	1	8,6	23,7	1125	822	402	28,7	3,7	489
Kahwa	Humide	15	8,2	23,3	1106	660	288	24,7	1,8	492
Kahwa	Humide	29	8,4	22,7	1406	684	325	24	5,1	474
Kahwa	Humide	43	8,4	24,8	1307	933	466	26,6	4,4	524
Kahwa	Humide	57	8,2	20,7	1178	757	341	27,2	4	443
Kahwa	Humide	71	7,8	25,9	1400	2164	1058	31,9	6,8	598

Parasitologie**Concentration moyenne mensuelle des œufs par litre**

Jours	ITFM	Rukumbuka	PIR	Nyamugo	Bagira	Jours	ITFM	Rukumbuka	PIR	Nyamugo	Bagira
1	16,7	87,5	43,3	0	52,5	141	11,7	20,8	28,3	0	27,5
15	12,5	82,5	25	36,7	82,5	155	28,3	25	0	20	0
29	9	61,7	72,5	19,2	50	169	9	0,0	0	0	75
43	0	93,3	21,7	0,0	85	183	0	0	26,7	11,7	0
57	0	80	29,2	0,0	18,3	197	14	60,0	62,5	15,8	75
71	10	31,7	82,5	62,5	50	211	13	25,8	36,7	20	72,5
85	0	92,5	67,5	96,7	26,7	225	0	56,7	0	0	0
99	0	85	21,7	36,7	45	239	0	60	55	0	55
113	0	55	75	20,0	72,5	253	8	22,5	23,3	14,2	22,5
127	0	58,3	23,3	62,5	0	267	11	0	16,7	0,0	25

Bactériologie

<i>Jours</i>	<i>Rivière Bwindi (UFC/100ml)</i>				<i>Rivière Tshula (UFC/100ml)</i>				<i>Rivière Wesha (UFC/100ml)</i>				<i>Rivière Kahwa (UFC/100ml)</i>			
	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>
1	35000	22500	41500	0	60000	47000	33500	370	580000	450000	33000	0	485000	250000	20000	240
15	38000	20000	59000	20	58500	42000	21000	48	575000	320000	59500	0	2250000	2050000	300000	0
29	29000	14000	28500	0	570000	395000	48000	0	515000	480000	42000	0	2350000	2000000	360000	0
43	22000	10000	44000	0	525000	400000	55000	0	490000	335000	55000	0	600000	275000	52000	0
57	20500	11000	53000	0	515000	380000	420000	0	570000	500000	600000	0	2150000	1550000	200000	0
71	21000	9500	19000	0	495000	295000	390000	0	425000	375000	370000	330	2000000	1350000	205000	0
85	29500	22000	2650000	0	54500	48000	225000	0	1250000	1000000	600000	29	2050000	1700000	310000	0
99	455000	24000	56500	24	2050000	1750000	400000	0	1200000	1000000	1000000	220	2600000	2000000	220000	0
113	1250000	1100000	1500000	0	2000000	1600000	155000	0	1850000	1450000	1900000	27	3000000	2050000	330000	1900
127	1800000	1400000	2500000	20	2350000	1750000	14000	0	1450000	1000000	1600000	0	2950000	1950000	290000	1200
141	1550000	900000	3150000	250	2500000	1400000	3350	300	2250000	2050000	1750000	0	3050000	2450000	280000	0
155	1100000	1000000	2150000	0	2600000	1950000	160000	0	2050000	1800000	1500000	0	4350000	3500000	315000	0
169	2000000	1350000	2100000	0	3150000	2100000	1800000	0	2350000	2000000	180000	0	5600000	4150000	400000	0
183	2050000	1700000	2050000	0	2400000	1900000	15500	0	2000000	1700000	1650000	0	4850000	3400000	375000	0
197	1800000	1500000	2000000	0	2350000	1850000	300000	0	1900000	1550000	1400000	0	3700000	2950000	365000	0
211	2000000	1450000	2200000	0	2300000	1650000	170000	0	2300000	2000000	1750000	0	3900000	3050000	405000	0
225	1250000	750000	2450000	0	2150000	1600000	135000	0	2400000	2050000	1100000	0	3850000	2750000	400000	0
239	1500000	1000000	3050000	0	2200000	1100000	160000	25	2450000	2100000	190000	0	4200000	2200000	365000	0
253	900000	800000	250000	20	2250000	1550000	20500	20	2700000	2450000	1700000	48	3350000	2650000	355000	325
267	2050000	1850000	2800000	0	2350000	1150000	200000	350	2450000	2200000	200000	0	3400000	2700000	285000	0

Débit (l/s)

Saison sèche		Saison humide						
Collecteur	Heures	Jours						
		1	15	29	43	57	71	
ITFM	7h	27	25	29	21	17	28	31
	8h	31	22	27	23	18	27	47
	9h	30	22	24	24	14	26	37
	10h	29	21	19	20	16	25	41
	11h	28	17	20	20	16	24	35
	12h	30	18	21	19	14	28	39
	13h	27	17	21	17	15	24	27
	14h	28	16	20	16	14	20	35
	15h	30	20	18	15	13	20	37
	16h	24	18	17	14	11	22	29
	17h	23	18	16	16	12	21	32
	18h	20	19	16	16	13	20	27
Rukumbuka	7h	37	33	30	29	27	33	34
	8h	40	33	33	31	25	35	68
	9h	36	27	32	24	20	30	64
	10h	33	26	24	23	20	24	55
	11h	32	24	20	24	21	22	48
	12h	35	26	21	23	20	22	53
	13h	30	28	21	17	17	17	36
	14h	37	24	20	16	16	18	40
	15h	35	26	18	15	16	20	57
	16h	34	24	33	15	16	20	32
	17h	36	30	30	21	17	21	49
	18h	37	32	17	22	20	23	31
PIR	7h	20	18	21	23	16	26	60
	8h	21	22	19	20	14	23	62
	9h	14	13	11	21	11	15	40
	10h	14	10	11	17	13	14	30
	11h	18	13	14	16	15	24	31
	12h	16	10	11	14	10	20	8
	13h	14	10	10	10	10	12	20
	14h	10	11	11	10	11	14	25
	15h	9	10	10	12	12	13	15
	16h	10	11	10	10	10	18	59
	17h	22	19	10	11	10	20	7
	18h	21	16	13	12	17	24	23
Nyamugo	7h	22	19	21	16	19	21	90
	8h	27	22	23	18	16	23	69
	9h	25	24	20	18	14	20	78

Bagira	10h	27	19	20	19	14	18	25	72	38	38	14	23
	11h	27	21	21	22	16	22	24	79	31	39	21	16
	12h	28	19	23	21	17	19	23	66	26	34	31	27
	13h	27	18	20	19	18	22	21	34	48	44	24	60
	14h	26	20	17	14	20	18	21	32	47	51	27	56
	15h	21	19	15	15	21	18	23	25	36	51	27	71
	16h	20	18	16	17	18	17	16	20	41	43	26	63
	17h	20	17	23	15	16	17	19	22	41	35	28	54
	18h	22	17	18	15	16	18	22	26	40	24	26	36
	7h	33	35	30	31	26	33	36	52	47	44	41	54
	8h	37	35	28	33	28	33	38	43	46	40	39	61
	9h	30	27	24	24	21	24	29	78	40	37	42	42
	10h	18	20	22	18	19	20	19	70	32	23	56	36
	11h	23	22	23	30	19	17	18	82	23	38	53	35
	12h	24	22	21	26	15	23	28	67	24	37	37	29
	13h	22	23	17	16	13	20	25	69	23	31	30	42
	14h	16	15	13	14	11	17	20	70	17	26	39	39
	15h	14	15	12	17	11	16	16	33	18	18	42	35
	16h	18	20	19	27	18	20	15	31	19	15	43	56
	17h	27	29	23	23	23	28	22	29	26	30	29	57
	18h	31	32	25	27	27	34	29	24	33	36	19	82

Parasitologie

Concentration moyenne mensuelle des œufs par litre

Jours	ITFM	Rukumbuka	PIR	Nyamugo	Bagira
1	16,7	87,5	43,3	0	52,5
15	12,5	82,5	25	36,7	82,5
29	9	61,7	72,5	19,2	50
43	0	93,3	21,7	0,0	85
57	0	80	29,2	0,0	18,3
71	10	31,7	82,5	62,5	50
85	0	92,5	67,5	96,7	26,7
99	0	85	21,7	36,7	45
113	0	55	75	20,0	72,5
127	0	58,3	23,3	62,5	0
141	11,7	20,8	28,3	0	27,5
155	28,3	25	0	20	0
169	9	0,0	0	0	75
183	0	0	26,7	11,7	0
197	14	60,0	62,5	15,8	75
211	13	25,8	36,7	20	72,5
225	0	56,7	0	0	0
239	0	60	55	0	55
253	8	22,5	23,3	14,2	22,5

267 11 0 16,7 0,0 25

Bactériologie au niveau des collecteurs

<i>Jours</i>	<i>ITFM (UFC/100ml)</i>				<i>Rukumbuka (UFC/100ml)</i>			
	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>
1	20000	14000	54000	0	4500000	2950000	2200000	29
15	97000	76000	75000	0	4950000	3300000	2150000	38
29	105000	100000	180000	0	5300000	4050000	1250000	44
43	300000	205000	220000	0	6000000	5100000	570000	0
57	85000	66000	215000	0	5550000	5000000	510000	0
71	480000	300000	200000	0	5250000	4650000	205000	0
85	2050000	1350000	2050000	33	22500000	18000000	4550000	550
99	2400000	2050000	2200000	0	5600000	5150000	490000	26
113	2900000	2000000	2350000	0	4750000	4100000	520000	64
127	2000000	1600000	1750000	25	5100000	4150000	500000	0
141	2500000	2350000	950000	130	22000000	20000000	1200000	0
155	700000	415000	800000	225	4850000	4200000	580000	42
169	2200000	2100000	1250000	0	5050000	4000000	500000	0
183	900000	600000	2400000	0	4900000	4600000	200000	26
197	225000	205000	2100000	0	4800000	4550000	205000	0
211	430000	310000	1900000	39	5200000	4800000	1050000	0
225	525000	290000	750000	0	31000000	20500000	980000	0
239	330000	260000	420000	0	3950000	3000000	1200000	0
253	2850000	2100000	3000000	0	4150000	3200000	205000	0
267	70000	50000	205000	0	4450000	4000000	290000	0

<i>Jours</i>	<i>PIR (UFC/100ml)</i>				<i>Nyamugo (UFC/100ml)</i>			
	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>
1	4100000	3700000	330000	0	4000000	3200000	520000	350
15	4450000	3800000	305000	0	3800000	3100000	410000	0
29	4550000	3450000	405000	88	3700000	2900000	355000	0
43	2000000	1750000	500000	34	3900000	2000000	270000	225
57	2500000	2050000	480000	0	1900000	1700000	52000	0
71	520000	440000	405000	0	2150000	1950000	57000	0
85	4850000	3950000	2050000	56	5750000	4050000	2000000	39
99	2350000	2300000	2400000	128	20500000	14000000	4850000	200
113	2900000	2650000	550000	50	5050000	4150000	480000	540
127	3550000	3800000	400000	0	4850000	4200000	510000	0
141	4900000	3650000	410000	0	5000000	4650000	425000	0
155	4800000	3900000	390000	0	5900000	4850000	515000	525
169	4900000	3400000	295000	275	5250000	5000000	600000	0
183	4850000	3900000	210000	0	5000000	4600000	375000	0

197	4700000	3850000	200000	0	5050000	4050000	570000	0
211	4400000	3800000	260000	0	4200000	3600000	335000	60
225	4500000	3700000	300000	0	2700000	2100000	220000	210
239	3350000	2900000	305000	0	3000000	2200000	430000	0
253	4000000	3450000	370000	47	4500000	4150000	545000	0
267	4100000	3750000	480000	41	4600000	4200000	580000	0

Bagira (UFC/100ml)

<i>Jours</i>	<i>CF</i>	<i>EC</i>	<i>SF</i>	<i>CSR</i>
1	2950000	2300000	400000	0
15	850000	600000	220000	0
29	2200000	2000000	510000	0
43	2550000	2300000	53000	0
57	2050000	1700000	900000	0
71	825000	600000	230000	35
85	3150000	2900000	950000	30
99	4500000	4100000	920000	0
113	3800000	3500000	750000	0
127	3450000	3100000	600000	24
141	3300000	2900000	850000	53
155	5250000	4700000	870000	0
169	5000000	4500000	920000	24
183	5100000	5000000	910000	30
197	4700000	4200000	880000	0
211	4350000	4100000	930000	0
225	395000	335000	830000	0
239	2750000	2200000	980000	0
253	2800000	2400000	950000	0
267	320000	270000	770000	0