

Prévalence des bactéries potentiellement pathogènes dans les eaux du lac Kivu et de la rivière Ruzizi en aval des décharges sauvages en commune d'Ibanda

[Prevalence of potentially pathogenic bacteria in the waters of Lake Kivu and the Ruzizi river downstream of illegal dumps in Ibanda commune]

Balumisa Mubolwa Jules¹, Gabriel Baguma Balagizi², Rwabika Mushengezi Anicet³, Munundu Mwangaza Aline⁴, Aksanti Lwango⁵, Atumishi Mubangu El Kent⁶, and Cubaka Kabagale Alfred⁷

¹Master en gestion de l'environnement, Politique-socio-économie de l'environnement, Assistant de premier mandat, Institut Supérieur d'Agroforesterie et de Gestion de l'Environnement (ISAGE) de Kahuzi, Biega, RD Congo

²Assistant, Université Officielle de Bukavu, BP: 570 Bukavu, RD Congo

³ISP, GOMA, RD Congo

⁴Centre Hydrobiologique d'Uvira, RD Congo

⁵Institut Supérieur des Techniques Médicales de Bukavu, RD Congo

⁶Master en gestion de l'environnement, Politique-socio- économie de l'environnement, écrivain et chercheur de la RDC, RD Congo

⁷Laboratoire de Physiologie Végétale et de Microbiologie Appliquée, Université Officielle de Bukavu, BP: 570 Bukavu, RD Congo

Copyright © 2021 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The objective of this research was to quantify and identify pathogenic bacteria in the wastewater of Lake Kivu and the Ruzizi River, downstream of wild dumps. Bacteria samples were taken using the 250 ml sterile plastic vials. Indeed, the whole forearm is immersed in water with the vial, open at a depth of 25 to 30 cm and it is hermetically sealed inside the water itself. The samples were transported at low temperatures in a cooler containing ice blocks to the laboratory for possible analysis. Microbiological analyses were done at the LPVMA/UOB. To arrive at a possible count of the number of colonies of bacteria, the process of the dilution technique of the samples because it allows us to reduce the bacterial flora in a sample. For each site, we inoculated on three Petri dishes according to the number of dilutions (from 10^0 to 10^{-3}). All Petri dishes are incubated at 37°C for 24 hours. The number of colonies was found on the surface of all three plates averaged and expressed in colony-forming units (CFU) per ml of water. Plating on the specific media was done in test tubes using a platinum loop. The results of our analyses showed that the max/min shift of the values of variables of the physicochemical parameters according to the sampling sites did not exceed the interval of one unit: salinity (0.06-0.5), temperature (24.25-25.4°C), pH (8.5-9), dissolved O₂ (57.2 - 59.8 mg/L.10⁻¹). Regarding to the variation of CFU on the different culture media used, the analyses revealed us that the number of colonies varies according to the type of culture media, which constitutes a danger of the community health of the urban population. The studies on these bacteria resistance according to the most commonly used antibiotics are capital for a better support to the public health. It is on PCA and PA where we found the most colonies than on ECA where the CFUs are the lowest. A significant difference was observed between the CFU detected in the waters of Mushununu and those detected in the waters of the Ruzizi I dam ($p = 0.005$), those detected in the waters from Hewa Bora and those from ELAKAT ($p = 0.03$) and those from Honga and ELAKAT ($p = 0.041$). A spatial distribution of detected genera of potentially pathogenic bacteria; including *Salmonella sp*, *Escherichia sp*, *Sphingomonas sp*, *Pseudomonas sp*, *Klebsiella sp*, *Moraxella sp*, *Vibrio sp*, *Citrobacter sp*, *Enterobacter sp*, and *Serratia sp* was observed.

KEYWORDS: Prevalence, Pathogenic bacteria, Lake Kivu, Ruzizi River, wild dumps, Commune of Ibanda.

RESUME: L'objectif de cette recherche était de quantifier et identifier les bactéries pathogènes des eaux usées du lac Kivu et de la rivière Ruzizi, en aval des décharges sauvages. Les échantillons de bactéries ont été prélevés à l'aide des flacons en plastiques stériles de 250 ml. En effet, tout l'avant-bras est plongé dans l'eau avec le flacon, ouvert à une profondeur de 25 à 30 cm de profondeur et il est hermétiquement fermé à l'intérieur même de l'eau. Les échantillons ont été transportés dans un sac isotherme au LPVMA/UOB pour les analyses. Pour arriver au dénombrement des colonies des bactéries potentiellement pathogènes, le procédé de la technique de dilution des échantillons et trois boîtes de pétri ont été inoculées à chaque dilution (10^{-1} ; 10^{-2} et 10^{-3}). Toutes ces boîtes ont été incubées à 37°C pendant 24h. Le nombre de colonies a été trouvé sur la surface de toutes les 3 boîtes en faisant leur moyenne et en les exprimant en unités formatrices de colonies (UFC) par ml d'eau. L'ensemencement sur les milieux d'identification a été fait dans des tubes à essai à l'aide d'une anse de platine. Les résultats des analyses, ont montré que le décalage max/min des valeurs de variation des paramètres physico-chimiques selon les sites d'échantillonnage n'excède pas l'intervalle d'une unité: la salinité (0,06-0,5%mg/l), la température (24,25-25,4°C), le pH (8,5-9), l'O₂ dissous (5,72-5,98 mg/l). De ce qui concerne la variation des UFC sur les différents milieux de culture utilisés, les analyses nous ont révélé que les nombres des colonies varient selon le type des milieux de culture. C'est sur le PCA et le PA où nous avons trouvé le plus de colonies que sur l'ECA où les UFC sont le moins élevées. Une différence significative a été observée entre les UFC détectées dans les eaux de Mushununu et celles du barrage de la Ruzizi I ($p=0,005$), celles de Hewa Bora et d'ELAKAT ($p = 0,03$) et celles de Honga et d'ELAKAT ($p = 0,041$). En outre, une répartition spatiale des genres bactériens potentiellement pathogènes ont été détectés; à savoir *Salmonella sp*, *Escherichia sp*, *Sphingomonas sp*, *Pseudomonas sp*, *Klebsiella sp*, *Moraxella sp*, *Vibrio sp*, *Citrobacter sp*, *Enterobacter sp* et *Serratia sp* a été observée. Ce qui constitue un danger de la santé communautaire de la population urbaine. Les études sur la résistance de ces bactéries selon les antibiotiques les plus couramment utilisés s'avèrent capital pour une meilleure prise en charge de la santé publique.

MOTS-CLEFS: Prévalence, Bactéries pathogènes, Lac Kivu, Rivière Ruzizi, décharges sauvages, Commune d'Ibanda.

1 INTRODUCTION

Avec le début de l'industrialisation, des décharges commencent à apparaître et la plupart des déchets produits (domestiques et industriels) sont absorbés par la nature ou dilués par des rejets dans les cours d'eau et/ou dans l'atmosphère (Mohamed, 2015). La plupart d'habitants n'ont d'autres possibilités que des dépôts anarchiques dans la rue, sur des réserves administratives des parcelles non mises en valeur (Asceas, 2008). Cela fait à ce que, ces sites de stockage sont exploités sans aucun respect de l'environnement et des règles élémentaires d'hygiène publique (Aina et Matejka, 2003; Alemad, 2010).

Cependant, la proximité des décharges publiques qui reçoivent tout type des déchets sans aucun traitement préalable constitue une source potentielle de pollution des cours d'eau, soit par ruissellement des eaux soit par lixiviation qui héberge des éléments chimiques et bactériologiques pour le milieu récepteur (Alemad, 2010). En plus ces polluants peuvent être un facteur de mise en danger ou de diminution de la biodiversité aquatique (Bouisson, 2012) et l'eau au voisinage des villes devient une cible de la pollution provoquant des risques énormes pour la santé (Abdis et al., 2013; Belghiti et al., 2009, Vial, 1983) ralentissant la productivité des écosystèmes naturels (Bagalwa et al., 2011; Bercky, 2012). Dans la ville de Bukavu, des eaux usées issues de la décharge entraînent des perturbations dans le milieu récepteur de façon qu'en saison de pluie les déchets sont charriés vers le lac Kivu en provenant des bassins versants tels que ceux des rivières Mpungwe, Kawa, Weshu, Tshula et Bwindi (Bagalwa et al., 2011, Lina, 2016).

Vu cette pertinence, la présente section se focalise plus sur la recherche des bactéries pouvant se trouver dans les eaux du lac Kivu et de la rivière Ruzizi en aval des décharges sauvages de la commune d'Ibanda dans la ville de Bukavu. Ces déchets contiennent un certain nombre de micro-organismes d'origine fécale (bactéries, virus, parasites) dont certains sont pathogènes (Amorce, 2012) par voie digestive (cas de *Salmonella ssp*). Aguiza et al (2014) montrent que les rejets domestiques, de l'abattoir municipal de la ville, des rejets des égouts peuvent être source importante des streptocoques fécaux. L'un des aspects les plus passionnants des sciences de l'environnement et d'autres domaines scientifiques est de comprendre comment les systèmes qui sont constitués de plusieurs parties interactives fonctionnent en tant que réalité (Raven et al., 2008).

Les analyses bactériologiques de l'eau ont pour but de mettre en évidence la présence ou non des bactéries qui modifient l'appétit d'une eau à une utilisation donnée (Aina et Matejka, 2003).

Cette partie du travail a comme objectif principal, la caractérisation des bactéries pathogènes des eaux en aval des décharges sauvages de la commune d'Ibanda dans le lac Kivu et la rivière Ruzizi.

Il s'agit précisément de:

- Identifier les bactéries pathogènes des eaux en aval des décharges sauvages de la commune d'Ibanda dans le lac Kivu et la rivière Ruzizi;
- Evaluer la qualité de ces eaux par des paramètres bactériologiques et physicochimiques.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 TECHNIQUES DE PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS

L'échantillonnage s'était effectué sur 8 sites dont 4 sites (Mushununu, ELAKAT, Barrage Ruzizi, Hewa Bora) se trouvant à l'entrée de la rivière Ruzizi et 4 autres sites (Kahuwa, Baie de Nyofu, Bassin du Collège et Honga) à l'entrée du lac Kivu. Ces sites de prélèvement étaient choisis en fonction de leur localisation par rapport à certains endroits de stockage des déchets sauvages de la commune d'Ibanda.

Tous les paramètres physicochimiques (pH, température, salinité, conductivité et O₂ dissous) ont été prélevés *in situ* par un appareil multisonde de marque PCE-PHD 1.

Les échantillons de bactéries ont été prélevés à l'aide des flacons en plastiques stériles de 250 ml (Mokdadi, 2015). Ces échantillons ont été pris de manière à ce qu'on évite toute sorte de contact avec l'air ambiant. Tout l'avant-bras était plongé dans l'eau avec le flacon; ouvert à une profondeur de 5 à 10 cm de profondeur et il est hermétiquement fermé à l'intérieur même de l'eau (Rodier, 2005). Les échantillons ont été transportés à basse température dans une glacière contenant des blocs de glace au laboratoire pour les éventuelles analyses (Emmanuel et al., 2014).

2.2 TECHNIQUES D'ANALYSES MICROBIOLOGIQUES

Les analyses microbiologiques ont été faites au LPVMA/UOB. Pour arriver à un dénombrement éventuel des colonies des bactéries, nous avons procédé à la technique de dilution des échantillons car elle permet de réduire la flore bactérienne dans un échantillon (Gevaerts, 1985). Cette technique s'effectue en utilisant de l'eau distillée stérile comme diluant et des pipettes graduées stériles en plastique. Nous avons procédé à des dilutions décimales jusqu'à 10⁻³. Pour obtenir des échantillons dilués, nous avons utilisé 1ml d'échantillon que nous avons mélangé avec 9ml d'eau distillée préalablement stérile et ainsi de suite jusqu'à la dilution 10⁻³.

Nous avons recherché les bactéries sur cinq milieux de culture sélectifs dont le McConkey pour la recherche des coliformes fécaux, le Plate Count Agar (PCA) pour isoler la flore mésophile aérobie totale (FMAT), le SS Agar pour la recherche de *Salmonella sp* et de *Shigella sp*, le Pseudomonas Agar pour la recherche des *Pseudomonas sp* et Enterococcus Confirmatory Agar (ECA) pour la recherche des coliformes totaux. Pour l'identification des germes pathogènes, nous avons utilisé le Simmons Citrate Agar (SCA), Kigler iron agar (KIA) et le sulfure indole mobilité (SIM). Ces milieux sont préalablement stérilisés dans l'autoclave pendant 15min sous une pression d'1bar à 121°C dans des bécards ou d'autres flacons en verre.

En ce qui concerne les milieux universels, l'ensemencement a été effectué dans des boîtes de Pétri à l'aide de pipettes plastiques stériles. Et la procédure consiste à prélever dans une pipette graduée 1ml de l'échantillon dans les boîtes de Pétri vides préalablement étiquetées. Nous avons ensuite complété chacune de ces boîtes avec 20ml de milieu de culture. Puis nous avons effectué des mouvements circulaires et de va et vient en forme de 8 pour permettre à l'inoculum de se mélanger complètement au milieu de culture avant de le laisser solidifier sur la paillasse (Mokdadi, 2015).

Pour chaque site, trois boîtes de Pétri ont été inoculées à dilution (10⁰ à 10⁻³) et toutes les boîtes de Pétri ont été incubées à 37°C pendant 24h. La moyenne du nombre de colonies trouvées à la surface de ces boîtes a alors été exprimée en unités formatrices de colonies (UFC) par ml d'eau. L'ensemencement sur les milieux d'identification a été fait dans des tubes à essai à l'aide d'une anse de platine. Diverses précautions d'asepsie ont été prises lors du prélèvement, le transport et la conservation au laboratoire des échantillons pour ne pas fausser les manipulations ultérieures (Ranjonson et al., 1992). Par ailleurs, les précautions telles que la désinfection des mains à l'alcool dénaturé et le port de gants lors des manipulations à proximité de la flamme d'un bec Bunsen....

Le traitement et analyse des données ont fait appel au logiciel PAST version 2.2 pour construire les dendrogrammes des UFC en fonction des milieux des cultures ainsi que leur variabilité. Le logiciel Excel a permis de construire les graphiques et les tableaux selon l'objectif de ce chapitre.

3 RÉSULTATS

3.1 VARIATION DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES SELON LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

La figure 10 représente la variation moyenne de la salinité, de la température, de pH et de l'O₂ dissous sur les sites d'échantillonnage. Ces paramètres ne représentent pas des grandes variations d'un site à l'autre. Le décalage max/min des valeurs n'excède pas l'intervalle d'une unité: la salinité (0,05-0,06 %mg/l), la température (24,25-25,4°C), le pH (8,5-9), l'O₂ dissous (5,72-5,98 mg/L).

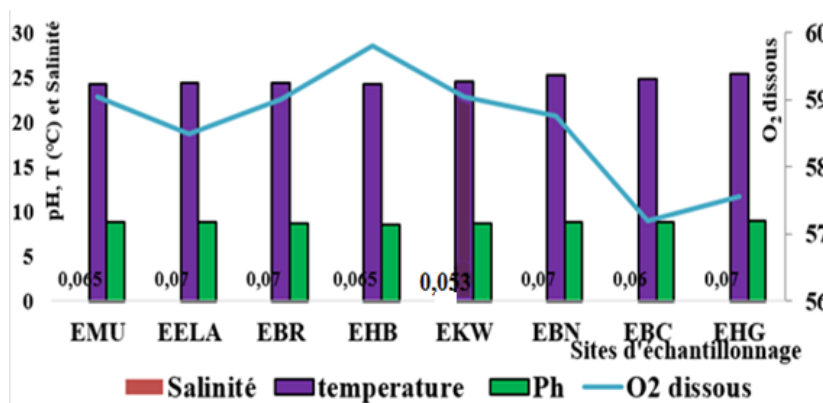


Fig. 1. Variation des paramètres physicochimiques sur les sites d'échantillonnage

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kahuwa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du bassin du Collège, EHG = eau de Honga

3.2 VARIATION DE LA CONDUCTIVITÉ SELON LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

La figure 11 ci-dessous illustre la variation moyenne de la conductivité sur les sites d'échantillonnage. Les valeurs les moins élevées sont notées à Hewa Bora et au Bassin du Collège alors que des valeurs vraiment élevées caractérisent le reste des sites. La valeur minimale est de 1130µS/cm (Bassin du Collège) tandis que la plus élevée est de 1265µS/cm (ELAKAT).

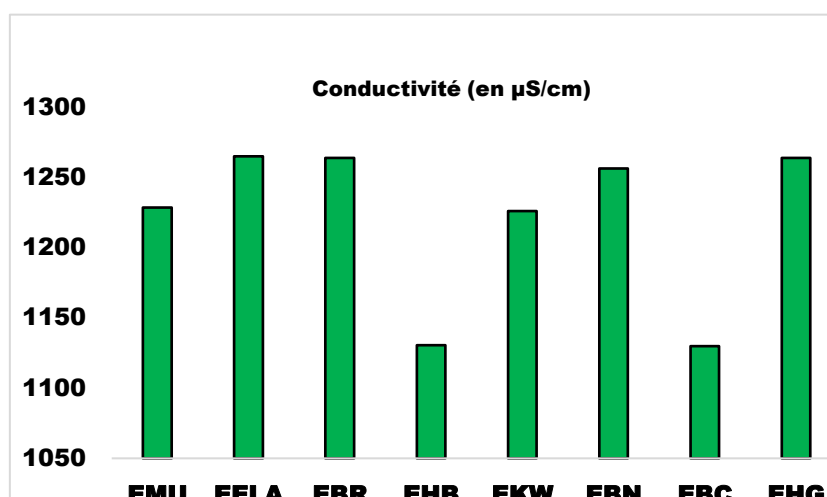


Fig. 2. Variation de la conductivité selon les sites d'échantillonnage

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kawa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du Bassin du Collège, EHG = eau de Honga

3.3 VARIATION DES UFC SUR LES DIFFÉRENTS MILIEUX DE CULTURE UTILISÉS

L'analyse bactériologique a été effectuée au LPVMA/UOB. Nous avons recherché des germes de la flore mésophile aérobie totale (FMAT), les coliformes totaux (CT) et fécaux (CF), les *Pseudomonas*, les *Salmonella* et les *Shigella*. Nous avons utilisé McConkey pour détecter les coliformes fécaux, le « Plate Count Agar » (PCA) pour la FMAT, le SS Agar pour les *Salmonella/Shigella sp*, le Pseudomonas Agar pour *Pseudomonas sp* et Entérocoques Confirmatory Agar (ECA) pour les coliformes totaux. Les résultats sont repris à travers la figure 12.

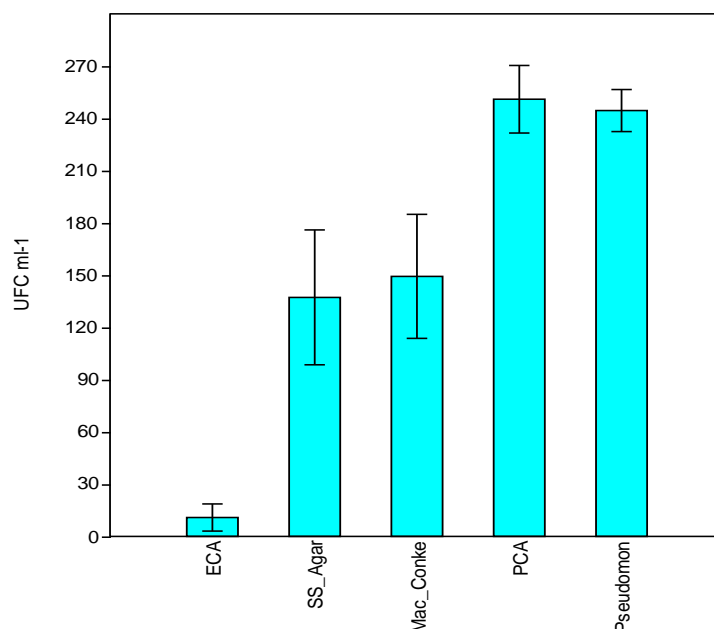


Fig. 3. Variation des UFC sur les différents milieux de culture utilisés

Légende: ECA (Enterococcus Confirmatory Agar), SS Agar, McConkey, PCA (Plate Count Agar), Pseudomonas Agar.

Les nombres des colonies varient selon le type des milieux de culture. C'est sur le PCA et le PA où nous avons trouvé le plus de colonies que sur l'ECA où les UFC sont le moins élevées.

3.4 CORRÉLATION DES PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES

Le tableau 8 ci-dessous présente la corrélation des paramètres physicochimiques et bactériologiques. Les résultats montrent que la corrélation est positive partout. La forte corrélation s'observe au niveau de la conductivité et tous les paramètres bactériologiques, sauf avec le milieu PA où la corrélation descend jusqu'à 0,49. La faible corrélation s'affiche au niveau de la température et de la FMAT avec une valeur de 0,02 et de la salinité et du milieu PA avec une valeur de 0,08.

Tableau 1. Corrélation des paramètres physicochimiques et bactériologiques

Paramètres	CT	SS	CF	FMAT	PA
Conductivité	0,96	0,79	0,95	0,94	0,49
Salinité	0,64	0,56	0,31	0,38	0,084
Température	0,34	0,44	0,54	0,02	0,70
pH	0,14	0,59	0,70	0,27	0,50
O ₂ dissous	0,30	0,54	0,64	0,12	0,43

Légende: CT = coliformes totaux, SS = *Salmonella sp* et *Shigella sp*, CF = coliformes fécaux, FMAT = flore mésophile aérobie totale, PA = *Pseudomonas aeruginosa*

3.5 VARIATION DES UFC OBSERVÉES SUR LES MILIEUX DE CULTURE SELON LES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE

La figure 13 ci-dessous montre des variations remarquables des UFC d'un site à un autre. Nous remarquons qu'il y a eu croissance des colonies sur McConkey, PCA et Pseudomonas agar à partir des eaux de tous les sites échantillonnés.

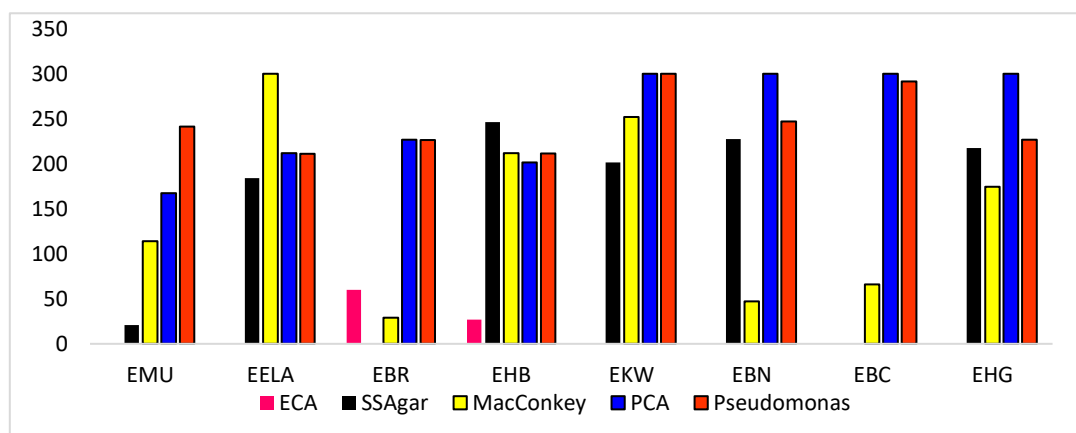


Fig. 4. Variation des UFC (x10⁶) observées sur les milieux de culture selon les sites d'échantillonnage

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kahuwa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du bassin du Collège, EHG = eau de Honga; ECA (Enterococcus Confirmatory Agar), SS Agar, McConkey, PCA (Plate Count Agar), Pseudomonas Agar.

Dans les eaux du barrage de Ruzizi I et du bassin du Collège, nous n'avons pas pu détecter de colonies sur SS Agar; c'est-à-dire que les UFC de *Salmonella sp* et *Shigella sp* y seraient présentes en dessous du seuil de détection. Des colonies n'ont été détectées sur ECA qu'à partir des eaux du barrage de Ruzizi I et de Hewa Bora. Le tableau 9 ci-dessous (résultats ANOVA) présente les sites ayant présenté des différences significatives en ce qui concerne les UFC détectées.

Tableau 2. Valeurs significatives des bactéries entre les sites d'échantillonnage

	EMU	EELA	EBR	EHB	EKW	EBN	EBC	EHG
EMU		0,97	1	0,99	0,86	0,99	1	0,97
EELA	1,38		0,97	1	0,99	1	0,98	1
EBR	0,005	1,38		0,98	0,86	0,99	1	0,97
EHB	1,35	0,03	1,35		0,99	1	0,99	1
EKW	1,94	0,56	1,94	0,59		0,99	0,96	1
EBN	1,05	0,32	1,06	0,29	0,88		0,99	1
EBC	0,43	0,95	0,44	0,91	1,50	0,62		0,99
EHG	1,42	0,041	1,43	0,08	0,51	0,37	0,99	

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kahuwa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du bassin du Collège, EHG = eau de Honga

Une différence significative a été observée entre les eaux de Mushununu et celles du barrage de la Ruzizi I ($p = 0,005$), celles de Hewa Bora et d'ELAKAT ($p = 0,03$) et celles de Honga et d'ELAKAT ($p = 0,041$). Les UFC détectées sur les autres sites ne sont pas significativement différentes car leur valeur de p est supérieure à 5%.

3.6 SIMILARITÉ ENTRE LES MILIEUX DE CULTURE UTILISÉS

Ce dendrogramme de la figure 5 montre le degré de similarité entre les 5 milieux de culture utilisés dans le travail. Il existe un fort taux de similarité d'une part entre SS Agar et McConkey et d'autre part entre PCA et PA. Le milieu ECA n'est similaire à aucun autre milieu de culture utilisé.

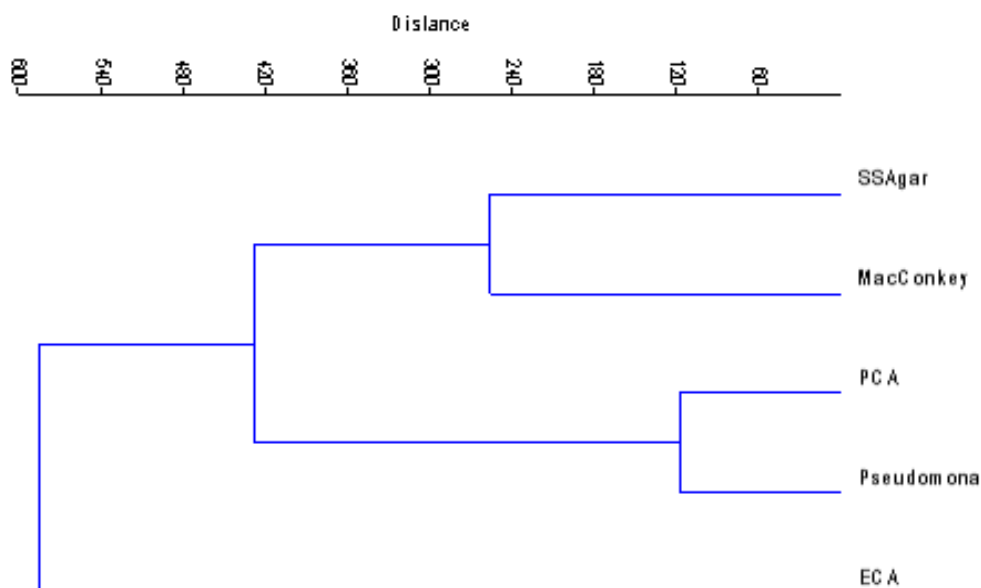


Fig. 5. Taux de similarité entre les milieux de culture utilisés

Légende (de haut vers le bas): SS Agar, MacConkey, PCA (Plate Count Agar), Pseudomonas Agar, ECA (Entérocoques Confirmatory Agar).

3.7 RÉPARTITION SPATIALE DES GENRES BACTÉRIENS POTENTIELLEMENT PATHOGÈNES DÉTECTÉS

Pour détecter les UFC des germes potentiellement pathogènes, les milieux Simmons Citrate Agar (SCA), Kigler iron agar (KIA) et Sulfure indole mobilité (SIM) ont été utilisés.

Le tableau 10 (page suivante) reprend les sites où au moins une UFC de germes potentiellement pathogènes a été détectée. Ce tableau présente les genres de bactéries potentiellement pathogènes isolés lors de notre recherche. Au total, nous avons identifié 10 genres et les résultats montrent que dans les eaux du Bassin du Collège, nous avons un seul genre, au Barrage de Ruzizi et à ELAKAT, on a trouvé 2 genres, à Mushununu, Kahuwa, Baie de Nyofu et Honga nous avons détecté 3 genres à chaque site et 4 à Hewa Bora. Les **XX** renvoient à une densité beaucoup plus importante tandis que les – indiquent les UFC sur le site sont en dessous du seuil de détection.

Tableau 3. Répartition spatiale des genres bactériens potentiellement pathogènes détectés

Germes isolés	EMU	EELA	EBR	EHB	EKW	EBN	EBC	EHG
<i>Escherichia sp</i>	X	-	-	-	X	-	-	-
<i>Salmonella sp</i>	-	-	-	XX	-	-	-	-
<i>Pseudomonas sp</i>	X	-	X	-	-	XX	-	-
<i>Klebsiella sp</i>	-	-	X	x	X	-	X	-
<i>Moraxella sp</i>	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Vibrio sp</i>	-	X	-	-	-	-	-	XX
<i>Enterobacter sp</i>	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Citrobacter sp</i>	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Sphingomonas sp</i>	-	-	-	X	-	-	-	X
<i>Serratia sp</i>	X	-	-	-	-	-	-	-

Légende: EMU = Eau de Mushununu, EELA = eau à ELAKAT, EBR = eau au Barrage Ruzizi I, EHB = eau de Hewa Bora, EKW = eau de la Kahuwa, EBN = eau de la baie de Nyofu, EBC = eau du bassin du Collège, EHG = eau de Honga.

4 DISCUSSION

L'analyse des paramètres physicochimiques et des bactéries pathogènes des sites d'échantillonnages prouve que les sites varient très peu entre eux. Les valeurs sont presque de même ordre sur tous les sites; sauf au niveau de la conductivité où on trouve certaines variations. Ces paramètres sont importants à savoir dans une étude bactériologique car la plupart d'entre eux seraient en relation directe avec la communauté microbienne dans un écosystème aquatique. La température ne varie pas d'un site à l'autre. Elle est très proche de 25°C sur les sites du versant de la Rivière Ruzizi que ceux du bassin de Bukavu au Lac Kivu. La saison expliquerait cette tendance relative de la température car l'échantillonnage a été effectué en saison sèche. Selon Alemad (2010), la température s'accompagne de la modification de densité, de la réduction de la viscosité, de l'augmentation de la tension de vapeur saturante à la surface et elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz. Elle favoriserait la mortalité de certaines espèces et le développement des autres.

Le pH est basique sur tous les sites; ses valeurs oscillent entre 8,5 et 9. Dans les rivières (Kahuwa, Tshula, Bwindi, Weshu) des valeurs très proches à celles obtenues dans nos sites d'échantillonnage ont été trouvées aussi bien en saison sèche qu'en saison de pluie par Lina (2016). Baok (2007) montre que le pH contrôle les vies aquatiques et régule le processus d'épuration dans le plan d'eau.

La salinité est presque la même sur tous les sites prospectés, sa concentration est très moins élevée sur tous les sites. Les concentrations élevées d'O₂ dissous peuvent justifier cette diminution de concentration de salinité. L'O₂ dissous varie très peu sur tous les sites d'échantillonnage. Sa valeur est élevée sur tous les sites. La concentration élevée en O₂ dissous est dû à la croissance du phytoplancton qui libère plus d'oxygène pendant la journée (Mokdadi, 2015). Selon Véronique (2015), la teneur en O₂ dissous dépend 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. Mais les sources d'oxygène sont diverses: apport par l'amont ou les affluents, la photosynthèse favorisant l'aération.

L'oxygène dissous est un paramètre important à prendre en considération car il renseigne d'une part sur l'état d'un écosystème aquatique et d'autre part il favorise la croissance des microorganismes qui dégradent les matières organiques. En général, les valeurs faibles de l'oxygène dissous favorisent le développement des germes pathogènes (Belghiti, 2013). La conductivité varie selon les sites d'échantillonnage; elle est élevée dans tous les sites d'échantillonnage sauf à Hewa Bora et au Bassin du Collège où on trouve des valeurs moins élevées. A Hewa Bora, cette diminution de la conductivité peut être due au mélange des eaux avec le collecteur de Luziba. Au bassin du Collège, la diminution de la conductivité se justifierait par l'éloignement des activités anthropiques.

Selon Belghiti (2013), la conductivité dépend des charges de matières organiques endogènes et exogènes, génératrices de sels après décomposition et minéralisation. Selon Rodier (2005), les phosphates sont généralement responsables de l'accélération du phénomène d'eutrophisation dans les lacs et les rivières. S'ils dépassent les normes ceux-ci sont considérés comme indice de contamination fécale entraînant une prolifération des germes et la détérioration de goût et l'apparition de coloration. Nous n'avons pas pu malheureusement l'évaluer au cours de nos investigations.

En ce qui concerne les paramètres bactériologiques, les résultats montrent que le nombre des colonies varie d'un milieu de culture à un autre. Ces derniers, ayant chacun sa composition chimique, font pousser différemment les colonies. Parmi ces milieux de culture, c'est sur le PCA où nous avons plus de colonies et sur l'ECA où on en a moins. Prescott et al. (2003), qualifie les milieux de culture comme étant une préparation solide ou liquide, utilisée pour faire croître, pour transporter et conserver des microorganismes. Un bon milieu de culture doit contenir tous les nutriments dont les microorganismes ont besoin pour se développer.

La corrélation entre les paramètres physico chimiques et bactériologiques est positive partout. Cela veut dire que pour étudier la bactériologie, nous devons toutefois l'associer avec la physicochimie et vice versa. La forte corrélation s'observe entre la conductivité et tous les paramètres bactériologiques. Mais la composition de la flore bactérienne dépend de plusieurs facteurs dont les charges organiques et minérales, le pH, la turbidité, la température... Le mélange et le mouvement des éléments nutritifs, de l'oxygène et des déchets qui se produisent dans les eaux douces et marines sont les facteurs dominants contrôlant la communauté microbienne aquatique.

Dans l'eau, les bactéries sont des agents de contamination et de pollution, la matière organique étant disponible pour les bactéries anaérobies qui libèrent alors des gaz nauséabonds et toxiques ainsi que des produits chimiques variés provenant des diverses fermentations. Ces bactéries peuvent empêcher la sédimentation des boues au niveau de Station d'épuration (Prescott et al., 2003).

Nos résultats montrent que le nombre des colonies sur les différents milieux de culture varie d'un site à l'autre. Dans tous les sites, il y a présence de colonies sur le McConkey, le PCA et PA. Ces derniers correspondent respectivement aux colonies des coliformes fécaux, la FMAT et les *Pseudomonas sp.* Les concentrations les plus élevées s'observent à ELAKAT, Hewa Bora,

Kahuwa et Honga. On peut traduire ces résultats par la présence des décharges domestiques et des déchets de certains habitats situés au voisinage de ces sites ainsi que les écoulements des fosses septiques. La même justification a été signalée dans les rivières Tshula, Bwindi, Kahuwa et Weshu (Lina, 2016).

Ces résultats concordent avec ceux de la rivière Kahuwa et Lwiro dans la région tropicale (Bagalwa, 2006; Bagalwa et al., 2013) où les valeurs dépassant les normes pour les eaux courantes ont été enregistrées dans certains échantillons (WHO, 2003). A ELAKAT à part les déchets sauvages, il y a aussi un abattoir qui déverse leurs déchets dans la rivière. D'après Chuku et al. (2017), les fortes densités de streptocoques fécaux observées dans les cours d'eau de Ngaoundéré au Cameroun sont probablement les conséquences respectives de l'abattoir municipal de la ville. Quant aux coliformes totaux, ils existent dans les matières fécales de l'homme et de l'animal et peuvent également se développer dans certains milieux naturels (sol, végétation). Leur absence ne signifie pas nécessairement que l'eau ne présente pas de risque pathogène (Abdis et al., 2013). Par ailleurs, les coliformes fécaux sont les plus importants des paramètres microbiologiques pris en compte dans le contrôle de la qualité des eaux et leurs présences sont suffisantes à confirmer qu'il y a effectivement une pollution fécale (Mokdadi, 2015).

La concentration élevée de *Pseudomonas sp* pourrait être expliquée par une pollution fécale d'origine animale et humaine (fosse septique, élevage de bétails, utilisation des déchets des animaux comme fertilisants pour la terre agricole avoisinant les sites (Belghiti, 2013). Selon Bengoumi et al. (2015) les colonies de la FMAT qui poussent sur le PCA à 37°C sont des indicateurs de pollution bactérienne; celle-ci étant d'origine intestinale (humaine et animale). Les concentrations les moins élevées se trouvent au niveau de la baie de Nyofu, de Mushununu, du Barrage Ruzizi I et du Bassin du Collège. Cette diminution d'UFC semble proportionnelle à la distance de ces sites avec les activités anthropiques.

Certains de nos sites d'échantillons présentent des différences significatives telles que Mushununu et Barrage Ruzizi. Même s'ils se trouvent dans un même écosystème qui est la rivière Ruzizi, ceci peut se justifier par le fait que de l'amont à l'aval, le milieu change. Hewa Bora et Honga sont significativement différents à ELAKAT, cette situation est due aux raisons évoquées ci-dessus concernant Mushununu et Barrage Ruzizi I. La différence significative de Honga et ELAKAT s'expliquerait par le fait que les deux sites se trouvent dans des écosystèmes différents; dans le lac Kivu et dans la Ruzizi respectivement.

Parmi les milieux de culture qu'on a utilisée, certains donnent des résultats similaires comme le SS Agar et McConkey qui peuvent être utilisés pour les mêmes fins. Le PCA et le PA donnent aussi des résultats similaires et ont fait pousser plus de colonies que les autres milieux de culture. La similarité des résultats se traduit aussi par le nombre des colonies qui se sont développées sur ces milieux.

Dans notre recherche nous avons pu identifier dix genres potentiellement pathogènes (Tableau 10). Les germes d'origine fécale peuvent être recherchés pour confirmer le danger mis en évidence par leur présence, ainsi que d'autres germes d'origine non fécale dont le risque ne peut être mis en évidence que par la recherche des germes pathogènes tels que *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Klebsiella*... Ces germes sont souvent présents en faibles concentrations dans l'eau et peuvent se développer en culture (Abdis et al., 2013).

5 CONCLUSIONS

Cette étude donne une base d'informations sur la qualité bactériologique des eaux du lac Kivu et de la rivière Ruzizi en aval des décharges sauvages de la commune d'Ibanda dans la ville de Bukavu. Nous avons échantillonné sur 8 sites dont 4 sites (Mushununu, Barrage Ruzizi, ELAKAT, Hewa Bora) dont les eaux se déversent dans la rivière Ruzizi et 4 autres sites (Kahuwa, Baie de Nyofu, Honga et Bassin du Collège) dans le lac Kivu. Nous avons prélevé les paramètres physicochimiques (température, pH, salinité, conductivité, oxygène dissous) et bactériologiques sur chaque site. Les résultats obtenus ont montré que les paramètres physicochimiques varient peu d'un site à l'autre. La température est presque la même sur tous les sites, le pH est basique partout, tous les sites d'échantillonnage présentent une salinité très basse tandis que l'oxygène dissous y est élevé. Quant à la conductivité, elle est élevée sur tous les sites sauf au Bassin du Collège et à Hewa Bora.

En ce qui concerne la bactériologie, nous avons utilisé 5 milieux de culture universels (PCA, PA, SS Agar, McConkey, ECA) et 3 milieux sélectifs (Simmons Citrate Agar, Kigler Iron Agar, SIM). Les résultats montrent que les colonies poussent différemment sur les milieux de culture universels; avec des valeurs maximales enregistrées sur PCA et PA, tandis que les valeurs moyennes sont enregistrées sur SS Agar et McConkey. En revanche, les valeurs minimales sont enregistrées sur ECA. Ainsi, le PCA et le PA sont similaires, de même que le SS Agar et le McConkey. L'ECA ne présente aucune similarité avec d'autres milieux de culture. Nous avons remarqué que le nombre des colonies sur les milieux de culture varie d'un site à l'autre. Nous nous retrouvons avec plus d'unités formatrices de colonies (UFC) au niveau d'ELAKAT, Hewa Bora, Kahuwa, Honga et moins des UFC au niveau au Baie de Nyofu, à Mushununu, au barrage Ruzizi et au Bassin du Collège. Les densités d'UFC sont très élevées aux sites où les décharges sauvages sont très intenses; suggérant que les activités anthropiques sont la cause majeure de dégradation de la qualité des eaux douces à Bukavu.

Certains de nos sites d'échantillonnage sont significativement différents selon qu'ils se trouvent soit en amont (Mushununu) soit en aval (Barrage Ruzizi) de la rivière. Leur différence significative s'observe aussi selon qu'ils se trouvent dans des écosystèmes différents (Honga et ELAKAT). Nous sommes parvenus à identifier 10 genres potentiellement pathogènes repartis sur chaque site d'échantillonnage. Des mesures de réduction des effets anthropiques sur ces sites seraient un moyen pour réduire la dégradation de nos deux écosystèmes aquatiques (lac Kivu et Rivière Ruzizi) ainsi que les risques pathogènes de ces rivières sur la Ruzizi et le lac Kivu.

Les résultats de ce travail constituent pour les autorités Urbaines des données de base susceptibles d'être exploitées dans le cadre de l'amélioration de la qualité des eaux du lac Kivu et des rivières de la ville de Bukavu.

REFERENCES

- [1] Abdis, Merzoug S, Tabouche K, Maazi M. et Houhamdi M. 2013: Evaluation de la qualité des eaux du complexe de guerbessanhadja (Wilaya de Skikda-Nord en Algérie).
- [2] Aguiza, E.A., Auguste, O., Martin, B.N., et MBAWALA, A., 2014. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré, au Cameroun. *Afrique SCIENCE* 10 (4) (2014) 135 - 145.
- [3] Aina M. et Matejka G. 2003: Paramètres d'évaluation des impacts environnementaux des dépôts et des centres de stockage de déchets dans les pays en développement.
- [4] Alemad, A. 2010: Etude de la qualité physico chimiques et bactériologiques des eaux de la Nappe Maamora Kénitra-Maroc.
- [5] Amorice, 2012: Effets sanitaires liés à la gestion des déchets ménagers et assimilés.
- [6] Asceas, 2008: Assainissement et valorisation des déchets ménagers au Burkina Faso; Univ. de Genève, Pole des Sciences de l'environnement, unité d'Evaluation d'impact sur la santé.
- [7] Baok G, 2007. Pollution des eaux des rivières et impact sur les populations riveraines, cas de la rivière Mgoua dans la zone industrielle de Douala-Bassa. Mémoire online. Université de Dchang-FASA. Option Environnement.
- [8] Bagalwa M, Mwanjalolo M, Nachigera M, Karume K, 2011. Estimation of transported pollutant loads from small urban Kahuwa river micro-catchment in Lake Kivu, DR Congo.
- [9] Bagalwa. M., M., K. Karume, N.G. Mushagalusa, K. Ndegeyi, M. Biral, N. Zirirane, Z. Masheka et C. Bayongwa., 2013; Risques potentiels des déchets domestiques sur la santé des populations en milieu rural; Cas d'IrhambiKatana (Sud-Kivu, R.D.Congo).
- [10] Belghti L, Chahlaoui A, Bengoumi D, El Moustaine R. 2013: Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe Plio-Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc).
- [11] Bercky M. 2012. Gestion des déchets hospitaliers dans la ville de Bukavu en République Démocratique du Congo. Mémoire de master en Science de l'environnement, UEA.
- [12] Bengoumi D, Chahlaoui A, Belghti L, Taha I, Samih M, El Moustaine R. 2015. Etude de la qualité bactériologique de l'eau de puits dans les élevages avicoles (Meknes et Gharb- Maroc).
- [13] Gevaerts H.1985. *Biologie Générale* v fr Ed.Bordas, Paris université de Kisangani.
- [14] Chuku, E. C. et Aggrey, H., 2017. Fungi Associated with Seeds of *Irvingia gabonensis* and their Effect on Shelf Life. Department of Plant Science and Biotechnology, Rivers State University. *International Journal of Agriculture and Earth Science* Vol. 3 No. 8.
- [15] Emmanuel A, Augustin O, Martin B, Augustin M. 2014. Suivi de la qualité physico chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré au Cameroun. Environnement Canada, Agriculture Canada, Santé et Bien-être social Canada et Ministère de l'environnement de l'Ontario, 1985. L'épandage des eaux usées traitées et des boues d'épuration d'origine urbaine. Guide N° SPE 6-EP-84-1. Environnement Canada, Service de protection de l'environnement. 190p.
- [16] Lina A. L, 2016. Evaluation des charges polluantes (domestiques et industrielles) arrivant au lac Kivu dans la ville de Bukavu, RDCongo, thèse de doctorat, Université de Liège, Arlon, Belgique, 212p.
- [17] Mokdadi H, 2015: Contribution à l'étude de la qualité physicochimique et bactériologique des quelques zones humides de la wilaya d'El-Oued (Cas des lacs Ayata, chott Marouan, Sif El-Menadi et chott Halloufa), mémoire online, MSc biologiques, Biochimie appliquée.
- [18] Prescott L, Harley J, Kleivin D, 2003: *Microbiologie*. Université de Liège. 2ème éd Française.
- [19] Ranjonson J, Rasolofonirina N, Ratoaveloson J, Ravaonindriana N, 1992: Qualité des eaux, à Antananaviro, à Madagascar.
- [20] Rodier J., 2005. *Analyse de l'eau, Eaux naturelles, Eaux résiduaires, Eaux de mer*.
- [21] Rodier, J., 1996. *L'analyse de l'eau: eaux naturelles- eaux résiduaires- eau de mer*. Dunod. 8ème édition 1996. EAN13: 9782100024162, 1385 p.
- [22] Veronique, B., 2015. Systematic Review: Mechanisms of Dietary Heme Iron Intake in Colorectal Cancer: Volume 114: Red Meat and Processed Meat – Call for Data – Systematic Review: Mechanisms of Dietary Heme Iron Intake in Colorectal Cancer.p1-17.
- [23] Vial. J.Ph., 1983. Strong and weak convexity of sets and functions. *Mathematics of Operations Research*, 8: 231–259, 1983.
- [24] WHO, 2003: Guidelines for drinking water quality? (Geneva, WHO/SDE/WSH.03-04).