

## **ANALYSE DE LA QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DE L'EAU DES SOURCES BUHAMA ET KALIMBI DANS LES AIRES DE SANTE DE LEMERA ET KASHEKE, SUD-KIVU, RD CONGO**

### **[ ANALYSIS OF THE PHYSICO-CHEMICAL AND BACTERIOLOGICAL QUALITY OF WATER FROM BUHAMA AND KALIMBI SOURCES IN THE HEALTH AREAS OF LEMERA AND KASHEKE, SOUTH-KIVU, RD CONGO ]**

***Kasereka Dunia<sup>1</sup>, Asuka Emina<sup>2</sup>, Balibuno Muderhwa<sup>2</sup>, Ciza Nabushugwe<sup>3</sup>, Emmanuel Byumanine M<sup>4</sup>, and Biringanine Mushagalusa<sup>5</sup>***

<sup>1</sup>Licencie en santé publique à l'ISTCE/Bukavu, RD Congo

<sup>2</sup>Licencié en santé publique, assistant d'enseignement à l'ISTM/Kabare, RD Congo

<sup>3</sup>Licencié en développement intégral, assistant d'enseignement à l'ISTCE/Bukavu et à l'ISTAD/Bukavu, RD Congo

<sup>4</sup>Licencié en chimie, assistant d'enseignement à l'ISTM/Kabare, RD Congo

<sup>5</sup>Maitre de 3eme cycle en sciences de l'environnement UEA/Bukavu et Chef de Travaux à l'ISTM/Kabare, RD Congo

---

Copyright © 2018 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:** This study assesses the physicochemical and bacteriological quality of water from Buhama and Kalimbi springs in the health areas of Lemera and Kasheke in South Kivu from analyzes of the physicochemical and bacteriological properties of drinking water in these health areas. The results of physico-chemical analyze show that these waters, in general, are within the WHO recommended standards for drinking water. From the bacteriological point of view, it appears that some sites are polluted and carry germs that can harm the health of the population causing water-borne diseases. Thus, measures to combat this microbiological pollution aiming at setting up a committee supported by the political and administrative leaders for the management of water and the sensitization of the population on the water management and the water diseases must be taken before that the situation no longer becomes dangerous.

**KEYWORDS:** Water sources, Buhama and Kalimbi, drinking water, physico-chemistry, Bacteriology, DR CONGO.

**RESUME:** Cette étude apprécie la qualité physico - chimique et bactériologique de l'eau des sources Buhama et Kalimbi dans les aires de santé de Lemera et Kasheke au Sud-Kivu à partir des analyses des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau de boisson dans ces aires de santé. Les résultats des analyses physico-chimiques montrent que ces eaux, en général, sont dans les normes recommandées par l'OMS pour l'eau de boisson. Du point de vue bactériologique, il apparait que certains sites seraient pollués et sont porteurs des germes qui peuvent nuire à la santé de la population causant des maladies hydriques. Ainsi, les mesures de lutte contre cette pollution microbiologique visant à mettre en place un comité appuyé par les leaders politico-administratifs pour la gestion d'eau et la sensibilisation de la population sur la gestion d'eau et les maladies hydriques doivent être prises avant que la situation ne devienne plus dangereuse.

**MOTS-CLEFS:** Sources d'eau, Buhama et Kalimbi, l'eau potable, physico-chimie, Bactériologie, RD CONGO.

## 1 INTRODUCTION

Dans des nombreuses régions du monde, la pénurie d'eau devient un facteur limitant pour le développement économique et l'alimentation (WWDR, 2006 ; CA, 2007). Ainsi, dans un rapport publié en Juin 2003, le programme des Nations Unies pour l'environnement tire la sonnette d'alerte, « les nappes d'eau souterraines, dont dépendent deux milliards des personnes, pour l'alimentation et l'irrigation, sont soumises à une pression de plus en plus intenable » (PNUE, 2011). Ce programme estime à 1,1 milliard de personnes qui souffrent du manque d'eau potable dans le monde (OMS, 2006).

La République Démocratique du Congo, malgré ses énormes potentialités hydriques est classée 46<sup>ème</sup> sur 53 pays en 2007 quand à l'accessibilité à l'eau potable en Afrique (USAID, 2002). Environ, seuls 36 % de la population en République Démocratique du Congo utilisent de l'eau de boisson de qualité. La situation est très préoccupante en milieu rural où 16 % seulement de la population utilisent une eau potable. Dans l'ensemble du pays, 30 % seulement de la population ont l'eau sur place ou à moins de 100 mètres de la source d'approvisionnement. Toutes fois, qu'il s'agisse du temps ou de la distance pour chercher de l'eau potable, 22 % soit près d'un cinquième seulement de la population, a un accès facile à l'eau de boisson de qualité. Dans toutes les provinces 70 à 98% de la population doivent marcher pendant plus de 15 minutes ou au-delà de 100 mètres pour disposer de l'eau hygiénique à boire (USAID, 2002; Tshibangu, 2005).

La province du Sud Kivu est une région montagneuse; les réseaux hydriques sont alimentés par gravités car les sources sont toujours situées en altitude par rapport aux villages à desservir. Plusieurs travaux ont été réalisés dans la région de Katana sur la qualité de l'eau notamment dans les rivières Lwiro, Cirhanyobwa et Nyabaronko (Bagalwa, 2006 ; Bagalwa et al., 2012; Bagalwa et al., 2013). Ces travaux traitent des eaux des rivières mais les travaux qui s'intéressent de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des sources sont rares à part les travaux de Nabulungalire (2015) qui a étudié la perception de la population sur l'eau de boisson dans la localité de Mabingu, mais elle n'a pas analysé la qualité de l'eau dans cette localité. Kajivunira et al. (2015) ont étudié les apports pluviométriques aux sources d'eau de la région de Katana. Les problèmes des eaux dans les aires de santé de Lemera et Kasheke durant ces dernières années, les cas des maladies hydriques et les connaissances de la population sur la problématique des eaux dans la localité de Kasheke sont des sujets qui méritent d'avoir des réponses. C'est la raison pour laquelle nous avons abordé cette étude sur la connaissance de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des sources Buhama et Kalimbi dans les aires de santé de Lemera et Kasheke.

En effet, dans ces aires de santé, on observe une forte concentration des populations dans des espaces qui jadis n'étaient pas conçus pour recevoir des fortes densités des populations et les infrastructures de base n'existent pas. Ces populations connaissent actuellement un sérieux problème d'approvisionnement en eau de boisson et d'insalubrité suite au manque d'eau potable. C'est dans ce cadre que nous avons mené cette étude pour connaître les connaissances de la population sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de boisson dans ces aires de santé, ce qui pourra aider l'autorité à prendre des dispositions pour gérer la population et sauver des vies humaines en danger.

## 2 MATERIEL ET METHODE

### 2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Les aires de santé de Lemera et Kasheke font partie des aires de santé de la zone de santé de Kalehe. Elles sont localisées dans la localité de Kasheke dans le groupement de Mbinga-Sud qui est l'un des sept groupements qui compte actuellement la chefferie de Buhavu en territoire de Kalehe, province du Sud-Kivu en République Démocratique du Congo. Le groupement de Mbinga-Sud occupe une superficie de 396km<sup>2</sup> avec une densité de 3,96 habitats par km<sup>2</sup> et comprend dix villages dont quatre sont des îlots du lac Kivu: lhoka, Ishovu, Iko et Ibinja et les six autres sont des terres fermes : Bushushu, Muhongoza, Munanira, Cibanda, Tchofi et Kasheke (Bawili, 2016). Ce groupement, départ sa localisation sur les chaînes de montagnes de Mitumba, bénéficie d'un climat montagneux et présente deux saisons à savoir : la saison de pluie plus longue, allant de Septembre à Mai et la saison sèche plus courte, allant de la fin du mois de Mai jusqu'à la fin du mois d'Août. Les précipitations annuelles varient entre 1300 et 1600mm avec des températures basses à l'Ouest (suite à la présence des montagnes et forêts) et moyennes à l'Est (suite à la présence du lac Kivu). En moyenne la température est de 37°C. Les villages îlots sont entourés des eaux du lac Kivu à partir desquels ils sont approvisionnés. Les autres villages quant à eux, sont approvisionnés à travers les rivières, les ruisseaux et les sources intarissables. La population du groupement de Mbinga-Sud présente une hétérogénéité considérable. Elle est actuellement de 136.572 habitants.

## **2.2 MATÉRIELS ET MÉTHODES**

### **2.2.1 INVENTAIRE DES SOURCES D'EAU**

Les recherches des sources d'eau ont été réalisées à partir d'un entretien avec les chefs des villages qui nous ont affectés des relais communautaires pour localiser les sources. Pour chaque source les données relatives à la fréquentation, à l'état d'aménagement et les coordonnées GPS ont été enregistrées.

### **2.2.2 PRÉLÈVEMENTS DES ÉCHANTILLONS ET ANALYSE AU LABORATOIRE**

L'eau a été prélevée à la source où les populations viennent puiser ou faire autres besoins (lavage, lessivage, etc...). L'eau a été prélevée à l'aide des bocaux en plastiques préalablement rincés au laboratoire de malacologie, Département de Biologie du Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro, Province du Sud-Kivu en RD Congo. Les paramètres physico-chimiques (température, pH, TDS, EC, Oxygène dissous, dureté totale, dureté calcique, Chlorure, Sulfate, Alcalinité, Azote total, Ammonium, Nitrate, Phosphore total, Phosphore soluble, Demande chimique en oxygène, Demande biologique en Oxygène après 5 jours d'incubation) ont été mesurés sur le terrain tandis que les autres analyses ont été réalisées au laboratoire à Lwiro suivant les méthodes standards d'analyse des eaux (Golterman *et al.*, 1978 ; Bagalwa *et al.*, 2015).

### **2.2.3 PARAMÈTRES PHYSICO - CHIMIQUE**

#### **2.2.3.1 TEMPÉRATURE**

La détermination de la température de l'eau a eu lieu à la source au même moment du prélèvement de nos échantillons d'eau à analyser. Le thermomètre (Hanna Combo water proof) a été plongé dans l'eau puisée dans un récipient. Après cinq minutes, le thermomètre était retiré du récipient et nous avons lu la température de l'eau.

#### **2.2.3.2 PH**

Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre (Hanna Combo water proof) calibré au paravent avec des solutions tampons de pH 4 et 10. Le pH-mètre été plongé dans l'eau puisée dans un récipient à la source. Après stabilisation, le pH était lu.

#### **2.2.3.3 SÉDIMENTS TOTAUX DISSOUS (TDS)**

Les sédiments dissous (TDS) ont été mesurés à la source à l'aide d'un appareil COMBO (Hanna Combo water proof) en le plongeant dans l'eau puisée dans un récipient à la source.

#### **2.2.3.4 CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE (EC)**

La conductibilité électrique a été mesurée en utilisant un conductimètre COMBO. Le conductimètre a été introduit dans l'eau et les valeurs ont été lues lorsque l'appareil donne des valeurs stables.

#### **2.2.3.5 OXYGÈNE DISSOUS (OD) : O<sub>2</sub>**

##### **a. PRINCIPE**

L'hydroxyde de manganèse formé en présence de l'oxyde manganique brun est un composé complexe. Après l'acidification de l'oxyde manganique dissous et de l'ion Mn<sup>4+</sup> oxyde, l'iode en iodate qui est déterminé par titration avec le thiosulfate en présence d'empois d'amidon comme indicateur (Bagalwa *et al.*, 2005).

##### **b. REACTIFS**

- la solution de sulfate de manganèse : 100gr de MnSO<sub>4</sub> 4H<sub>2</sub>O dans 200ml d'eau distillée.
- Réactif de Winkler : 100gr de NaOH +50gr de KI dans 200ml d'eau distillée.
- l'acide sulfurique 50%.
- la solution de thiosulfate de sodium 0,01N préparée à partir du titrisol de 0,01N de Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- indicateur d'amidon à 1% (solution obtenue après chauffage).

**c. MODE OPERATOIRE**

- prélever 100 ml à 150 ml d'eau d'échantillon sans aucune bulle d'air.
- Ajouter directement sur terrain avec une pipette, 0,5ml de réactif de Winkler en dessous de la surface close sans aucune bulle d'air et secouer de bas en haut puis déposer à côté. La réaction de précipitation s'y est réalisée d'une manière et alors on transporte l'échantillon au laboratoire. Il faut dissoudre ce précipité en ajoutant 1 ml d'acide sulfurique 50%.
- Titrer l'iodure libéré avec 0,01N de thiosulfate de sodium jusqu'à ce que la coloration jaune persiste
- Ajouter quelques gouttes (environs 0,5 ml) de l'indicateur d'amidon et titrer jusqu'à ce que la coloration bleue disparaisse.

**d. CALCUL**

1 ml de thiosulfate de sodium 0,01N = 0.08 mg d'oxygène

$O_2 \text{ mg/l} = \frac{\text{ml de Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ consommé} \times \text{molarité de thiosulfate} \times 8000}{\text{Volume de l'échantillon ml} \times (\text{Volume de la bouteille} - 2) / \text{Volume de la bouteille}}$

**2.2.3.6 LA DEMANDE BIOLOGIQUE EN OXYGÈNE (DBO<sub>5</sub>)**

**a. PRINCIPE**

La DBO<sub>5</sub> est représentée par la quantité d'oxygène dissous nécessaire pour assurer la dégradation par voie biologique des matières organiques présentes dans un litre d'eau à 20°C après cinq jours (Bagalwa, 2006),

**b. MODE OPERATOIRE**

La DBO<sub>5</sub> utilise pour sa détermination le même matériel et réactifs que ceux employés pour le dosage de l'oxygène dissous, sauf qu'on ajoute certains cartons pour incubation des échantillons. Elle est calculée comme la différence entre la qualité d'oxygène dissous testé directement après échantillonnage et après une période de consommation ou d'incubation de cinq jours :

- après la détermination du contenu initial de l'échantillon d'eau en oxygène, rincer la bouteille complètement
- remplir encore une fois la bouteille jusqu'au bord et refermer en empêchant toute bulle d'air.
- Placer le tout dans une étuve à 20°C pendant 5 jours, après cette incubation recalculer le contenu en oxygène conformément au mode opératoire employé pour le dosage de l'oxygène dissous. La différence entre le contenu en oxygène avant et après incubations constitue la DBO<sub>5</sub>.

**c. CALCUL**

$DBO_5 = OD - OD_5$  avec  $OD_0 =$  oxygène dissous avant incubation

$OD_5 =$  oxygène dissous après 5 jours d'incubation

**2.2.4 DOSAGE DU PHOSPHORE**

**2.2.4.1.1 PHOSPHORE TOTAL**

**a. PRINCIPE**

Dans cette méthode le phosphore est oxydé par le persulfate qui libère le phosphore organique comme phosphore inorganique (Wetzel et Likens, 2000),

**b. REACTIFS**

- une solution de persulfate de potassium 5% (réactif A) : dissoudre 1gr de persulfate de potassium dans 20 ml d'eau ionisée. Cette préparation est à faire chaque avant analyse.
- solution d'acide molybdate antimoine (réactifs B) : dissoudre 7,5 gr de para molybdate d'antimoine  $(\text{NH}_4)_6\text{MO}_7\text{O}_{24}\text{H}_2\text{O}$  et 0,4gr de potassium tartrate d'antimoine dans 88 ml d'acide sulfurique  $(\text{H}_2\text{SO}_4)$  concentrée ( $d = 1,84$ ), faire reposer la solution et ramener à 1 litre, puis garder dans une bouteille sombre dans le frigo.
- solution d'acide ascorbique (réactif C) : dissoudre 2,5gr d'acide ascorbique dans 100ml d'eau d'ionisée

- solution standard de phosphore : dissoudre 0,2197gr d'hydrogénophosphate de potassium dans un litre d'eau distillée saturée par le chloroforme
- pipeter 1ml de réactif B, y ajouter 4ml et mettre dans 25ml d'échantillon
- mélanger 4 parties du réactif C, à une partie du réactif B, on obtient le réactif D.

**c. MODE OPERATOIRE**

- prélever 100ml de chaque solution et y ajouter 16ml de réactif ( $K_2S_2O_8$ ) et le placer dans un erlenmeyer de 250ml.
- Placer ces échantillons dans un bain-marie à 105°C pendant une heure
- Laisser refroidir les échantillons
- Prélever 25ml et y ajouter le réactif C et laisser reposer pendant moins de 24 heures
- Faire de même pour le standard et l'eau d'ionisée
- Rincer le récipient de deux solutions
- Lire l'absorbance sur l'appareil (spectrophotomètre UNCO 1200) à longueur d'onde de 885 nm

**d. CALCUL DES CONCENTRATIONS**

D'une façon classique, le calcul de la concentration de phosphore utilise la formule suivant selon Wetzel et Liken (2000)

$F = \frac{\text{concentration standard}}{E_1}$

$E_1$  (standard)  $EB_1$

Où F= facteur d'unité d'extinction pour le  $PO_4^{3-}P$

$E_1$  = absorbance de standard ou des échantillons

$EB_1$  = Absorbance de l'eau distillée

D'une façon moderne, pour calculer la concentration de phosphore, on utilise un programme de calcul sur l'ordinateur (phosphorusanalyticalmethod).

**2.2.4.2 PHOSPHATE (PHOSPHORE SOLUBLE RÉACTIVE)**

Pour déterminer la concentration dans les échantillons d'eau on utilise la même méthode que celle de phosphore total sauf qu'ici, on utilise de l'eau filtrée sur papier Whatman (25µm ou 47µm).

**2.2.4.3 DOSAGE DE L'AZOTE**

**2.2.4.3.1 AZOTE TOTAL**

**a. PRINCIPE**

La détermination de l'azote total se fait par la digestion au persulfate qui libère l'ammoniaque qui sera analysé par la méthode calorimétrique (Wetzel et Likens 2000),

**b. PREPARATION DES REACTIVES**

- solution de persulfate de potassium de 50% : dissoudre 5gr de persulfate de potassium ( $K_2S_2O_8$ ) dans 100 ml d'eau distillée comme lors du dosage du phosphore.
- solution de phénol ( $C_6H_5OH$ ) : peser 10gr de phénol cristalline, le dissoudre dans 50ml d'Ethanol 95%
- solution de nitroprusside de sodium ( $Na_2Fe(CN)_5NO_7 \cdot 2H_2O$ ) : dissoudre 10gr de nitroprusside de sodium dans 100ml d'eau distillée
- Réactif alcalin (citrate de sodium + NaOH) : peser 20gr de citrate de sodium ( $C_6H_5Na_3O_7 \cdot 2H_2O$ ) et 1gr d'hydroxyde de sodium (NaOH), mélanger les deux et les dissoudre dans 100ml d'eau distillée.
- solution d'hypochlorite de sodium 5% NaOCl : dissoudre 5gr d'hypochlorite de sodium dans 100ml d'eau distillée, mélanger 200ml de réactif alcalins et 5ml de solution d'hypochlorite de sodium et agiter.

**c. PREPARATION DE LA SOLUTION STANDARD**

Les solutions utilisées pour le dosage de l'azote sont les solutions de chlorure d'ammonium ( $NH_4Cl$ ). La préparation de la solution standard se fait de la manière suivante: dissoudre 53,5mg de chlorure d'ammonium dans 1l d'eau distillée.

**d. MODE OPERATOIRE**

- prélever 5ml d'échantillon et de solution standard
- y ajouter 0,2ml de la solution de phénol et agiter
- y ajouter 0,2ml de nitroprusside de sodium et agiter
- laisser reposer pendant 1 heure
- lire l'absorbance à 630nm de longueur d'onde en utilisant une cellule de 1cm

**e. CALCUL DE LA CONCENTRATION**

Le calcul de la concentration se fait toujours sur le logiciel Excel en utilisant un programme de calcul sur l'ordinateur (Nitrogen analytical method),

**2.2.5 AMMONIUM**

Pour déterminer la concentration dans les échantillons d'eau on utilise la même méthode que celle de l'Azote total sauf qu'ici, on utilise de l'eau filtrée sur papier Whatman (25 $\mu$ m ou 47 $\mu$ m),

**2.2.5.1 NITRATE**

Leur détermination suit la même procédure que pour tous les autres, mais ici, les échantillons filtrés sont encore passés dans une colonne de Zinc avant l'analyse en utilisant la même méthode que celle de l'azote total,

**2.2.5.2 DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGÈNE (DCO)**

**a. PRINCIPE**

La demande chimique en oxygène (DCO) représente la quantité d'oxydant, exprimée en équivalent d'oxygène, nécessaire pour oxyder par voie chimique les matières réductrices présentes dans un échantillon, dans des conditions opératoires définies, Cette grandeur est utilisée pour déterminer la quantité de matière organique d'un échantillon, En réalité, les matières inorganiques réductrices sont également mesurées, mais les matières organiques prédominent dans la majorité des cas qui nous concernent, La DCO est exprimée en gramme d'oxygène par unité de volume ou de masse de l'échantillon, Deux méthodes utilisant deux oxydants différents ( $\text{KMnO}_4$  et  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) sont utilisables, Dans notre cas nous avons utilisés la méthode utilisant le  $\text{KMnO}_4$ ,

Dans cette méthode, la détermination de la DCO consiste à l'oxydation à chaud, en milieu acide, par un excès de  $\text{KMnO}_4$ , L'excès est ensuite déterminé par i odométrie à l'aide de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$

**b. PREPARATION DES SOLUTIONS**

**• Préparation de la solution mère de  $\text{KMnO}_4$  (0,125 N)**

Peser 0,988g de  $\text{KMnO}_4$  et le dissoudre dans un ballon jaugé de 250 ml avec de l'eau distillée, Cette solution constituait un stock qui sera utilisé pour plusieurs expériences.

**• Préparation de la solution mère de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (0,1 N)**

Peser 6,205g de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  et le dissoudre dans un ballon jaugé de 250 ml avec de l'eau distillée, Cette solution constituait un stock qui sera utilisé pour plusieurs expériences.

**• Préparation de la solution diluée de  $\text{KMnO}_4$  (0,0125 N)**

Lors de chaque nouvelle expérience, 50 ml de solution mère de  $\text{KMnO}_4$  furent prélevés à l'aide d'une pipette jaugée (5 x 10 ml) et dilués dans un jauge de 500 ml avec de l'eau distillée.

**• Préparation de la solution diluée de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  (0,025 N)**

Lors de chaque nouvelle expérience, 5 ml de la solution mère de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  furent prélevés à l'aide d'une pipette jaugée, et dilués dans un ballon jaugé de 200 ml avec de l'eau distillée.

• **Préparation de la solution de KI**

Peser 10,064 g de KI et le dissoudre dans un ballon jaugé de 100 ml avec de l'eau distillée.

• **Préparation de la solution d'amidon**

1g d'amidon a été dissous dans un bécher contenant 100 ml d'eau distillée porte à ébullition.

**c. MODE OPERATOIRE**

Prélever 100 ml de Solution échantillon qu'on introduit dans un erlenmeyer de 250 ml. Le blanc (2) a été préparé en introduisant 100 ml d'eau distillée dans un erlenmeyer de 250 ml. 10 ml d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 50 % furent ajoutés précautionneusement, puis les erlenmeyers furent posés sur la plaque chauffante, et portés à ébullition. Ils furent retirés, et 50 ml de KMnO<sub>4</sub> 0.0125 N furent ajoutés. Les erlenmeyers furent couverts avec du papier aluminium, remis sur la plaque chauffante et portés à ébullition durant 10 min. L'ébullition était très instable, et pour éviter les pertes par éclaboussure, il fallait agiter les erlenmeyers de manière régulière. Les erlenmeyers furent sortis et plongés dans une bassine d'eau froide.

Une fois refroidis, 5 ml de KI 10 % leur furent ajoutés, et l'iode formé fut titré par le Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.025N. Lorsque la coloration devenait jaune pâle, l'amidon était ajouté, et le titrage continue jusqu'à décoloration complète.

**d. CALCUL DE LA CONCENTRATION**

La DCO se calcule de la manière suivante :

DCO

Symbole	Signification	Unité
DCO	Demande chimique en Oxygène	(mgo <sub>2</sub> /L)
V Blanc	Volume de thiosulfate utilise pour le titrage du Blanc	(mL)
V sol E	Volume de thiosulfate utilise pour le titrage de la solution échantillon	(mL)
100	Volume de la solution échantillon	(mLsolE)
NNa <sub>2</sub> s <sub>2</sub> 0 <sub>3</sub>	Titre de la solution de thiosulfate	(eq/L)
800	Mase d'oxygène par équivalent	(mgoé/eq)
F	Facteur de dilution	(Lech ou gech)LsolE)

**2.2.5.3 DÉBIT D'EAU**

Le débit a été mesuré à partir de la largeur du lit, la profondeur et la vitesse du courant d'eau utilisant la méthode de flotteur. La vitesse a été mesurée à l'aide d'un courant mètre après une moyenne de 15 prélèvements dans la section du lit de la rivière. Le débit (m<sup>3</sup>/s) est alors le calcul de la vitesse (m/s) et la surface en (m<sup>2</sup>) (Azanga, 2013).

**2.2.5.4 CHLORURE**

**a. PRINCIPE**

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate en présence de chromate de potassium. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge brique caractéristique du chromate d'argent.,

**b. MODE OPERATOIRE**

- Prélever 100ml d'échantillon dans un bécher en verre de 250 ml
- Y ajouter 1 ml d'une solution de chromate de potassium (50 g/L)
- Titrer avec le nitrate d'argent (4,789 g/L) jusqu'à la coloration rouge-brique
- Noter le nombre de ml de nitrate d'argent employées pour le virage,

**c. CALCUL**

Le nombre de ml de nitrate d'argent employées pour le virage X un facteur de correction 10 donne le mg de Chlorures exprimés en NaCl (Cl<sup>-</sup>).

#### 2.2.5.5 SULFATE

##### a. MODE OPERATOIRE

- Prélever 100ml d'échantillon dans un bécher ;
- Ajouter 1ml de HNO<sub>3</sub> et chauffer a l'ébullition ;
- Ajouter 10ml de BaCl<sub>2</sub> à l'échantillon bouillant et laisser refroidir ;
- Porter le volume à 150ml avec l'eau distillée ;
- Agiter et filtre la solution ;
- Prélever 50ml de filtrat dans un bécher ;
- Ajouter au filtrat de de 50ml et 1 ml de chlorure d'ammonium tampon ;
- Ajouter quelques gouttes de Noir d'Eriochrome ;
- Titre avec le Ti triplex III a 0,10N jusqu'au bleu,

##### b. CALCUL

Nombre de ml de ti triplex III pour la dreté +10 ml de chlorure de Baryum(BaCl<sub>2</sub>) – nombre de ml de ti triplex III utilisées pour le sulfate (Virage) x le facteur 9,6=nombre de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> /L.

#### 2.2.5.6 ALCALINITE

##### a. PRINCIPE

L'alcalinité est déterminée par le titrage direct d'échantillon de l'eau par l'acide chlorhydrique en utilisant le phénolphtaléine comme indicateur,

##### b. MODE OPERATOIRE

- Prélever 100 ml d'eau a examiné dans un bécher
- Ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphtaléine 1 %
- Titrer la solution avec l'acide chlorhydrique 0,1 N jusqu'à la décoloration complète,
- Le nombre de ml indique l'alcalinité en degré français.

#### 2.2.5.7 DURETE TOTAL

##### a. PRINCIPE

Les combinaisons azotées peuvent être présentées dans l'eau sous diverse formes, L'azote total peut être subdivisé en NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, Azote ammoniacal, azote organique (Golterman et al, 1978), La forme sous laquelle l'azote ammoniacal est présent dans l'eau dépend du pH de celle-ci (NH<sub>3</sub> libre ou ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup>),

##### b. MODE OPERATOIRE

- Prendre une partie aliquote de de 100ml ;
- Ajouter un comprimé tampon indicateur (pour titrage avec le HCl ;
- Ajouter 1ml de NH<sub>4</sub>OH, on obtient une coloration mauve ;
- Titrer la solution avec l'EDTA jusqu' au virage bleu vert ;
- Noter le nombre de ml qui ont donné le virage,

##### c. CALCUL

Le nombre de ml qui ont donné le virage x 1,79 exprime la dreté de l'eau en degré français (Zahradnik *et al.*, 1981).

NB : la dreté totale est celle qui correspond à l'ensemble des sels de calcium est de magnésium.

#### 2.2.5.8 DURETE CALCIQUE

##### a. MODE OPERATOIRE

- Prendre 100ml comme partie aliquote;

- Ajouter 5 ml de NaOH 1 N (précipitation de sel de Mg) ;
- Ajouter le murexide comme indicateur : coloration mauve,

NB : ajouté asses de murexide pour obtenir la zone de virage.

#### **b. CALCUL**

Nombre de CC de HCl donnant le virage  $\times 1,79$  degré F = nombre de gramme ou milligramme de  $\text{CaCO}_3$  (Zahradnik et al., 1981).

#### **2.2.5.9 DURETÉ MAGNÉSIQUE**

La dureté magnésique est calculée par la différence entre la dureté totale et la dureté calcique,

### **2.3 ANALYSES BACTÉRIOLOGIQUES**

Les analyses bactériologiques des différents échantillons d'eau ont consisté en un dénombrement des germes indicateurs de contaminations fécales, à savoir les coliformes fécaux, les entérocoques. Les méthodes utilisées pour la détermination des indicateurs de pollution fécale sont multiples. Les critères de choix d'une technique dépendent de l'origine, de la nature de l'eau à examiner, des facteurs relatifs à la qualité des résultats et des facteurs relatifs au cout des analyses. La méthode classique utilisée pour notre cas est l'étalement sur une gélose sélective d'une prise d'essai de l'échantillon brute sur différent milieu de culture (EMB, Mac Conkey et TCBS) (ALPHA, 1989).

#### **2.3.1 DÉNOMBREMENT DES COLIFORMES FÉCAUX**

Coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants sont un sous-groupe des coliformes totaux capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C. L'espèce la plus importante de ce groupe bactérien est *Escherichia coli* et dans une moindre mesure certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *Klebsiella* (Edmund et al. 1999 ; Emmanuel et al., 2004).

Le dénombrement est apprécié par des colonies jaune-orange sur le milieu gélosé. Les boitesensemencées ont été incubées à 44,5 °c pendant 24 h (AFNOR, 2001).

#### **2.3.2 DÉNOMBREMENT DES ENTÉROCOQUES**

Les entérocoques sont des bactéries sphériques en paires ou en chainettes, à gram positifs, catalase négative, anaérobie facultatives qui hydrolysent l'esculine en présence de bile (CEAEQ, 2005), Sous la dénomination générale d'entérocoques (Streptocoques fécaux) et selon l'OMS, les streptocoques fécaux sont en générale partie d'origine humaine, Ils sont considérés comme indicateurs d'une pollution fécale et leur principal intérêt réside dans le fait qu'ils soient résistants à la dessiccation et persistent plus longtemps dans l'eau (Gleeson et Gray, 1997).

La présence d'entérocoques est évaluée par dénombrement des colonies noires avec halo noir sur le milieu gélosé à la bile, à l'esculine et à l'acide de sodium, après incubation à 37 C pendant 48 h (AFNOR, 2001),

- Recherche des *Vibrio*

Le protocole d'isolement de *Vibrio* adopté est celui décrit par Lesne et al. (1991). Les échantillons d'eau brute prélevés ont été pré-enrichis dans un premier temps dans l'eau peptone, alcaline hyper salée, à pH compris entre 8,5 et 9. Le pH et la teneur élevé de NaCl (3%) favorisent le développement des *Vibrio* et inhibent la majorité des autres bactéries. Après 6 à 18 h d'incubation à 37 °c, un voile apparaît à la surface des récipients. Sans agiter, on prélève 1 ml à la surface du tube car les Vibrions ont tendance à se développer dans la partie supérieure du milieu et on l'ajoute au tube de l'enrichissement effectué dans l'eau peptone alcaline simple. Après incubation à 37 °c pendant 6 à 18 h, un inoculum de chaque type d'eau estensemencé à la surface d'une gélose TCBS et l'ensemble est incubé à 37 °c pendant 24 h. Si des colonies caractéristiques des *Vibrio* se développent il apparait une coloration couleur jaune ou verte. Les colonies présumées sur le milieu TCBS, sont purifiées sur gélose TSA puis subissent le test oxydase qui permet d'éliminer les entérobactéries qui ne la possèdent pas (Lipp et al., 2002). Après, on passe à l'identification phénotypique et au sérotypage des souches de *Vibrio*.

## 2.4 ANALYSES STATISTIQUES

Les données récoltées sur le terrain et après analyses au Laboratoire ont été analysées statistiquement après leur encodage dans Excel et le logiciel PAST a été utilisé pour l'analyse statistique.

## 3 RESULTATS ET DISCUSSION

### 3.1 PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU DES SOURCES BUHAMA ET KALIMBI EN FONCTION DES SITES ET DES SAISONS

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées dans deux saisons. Durant la saison sèche, les résultats des analyses physico chimiques sont présentés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 1. Résultat des analyses physicochimiques des eaux de ces deux sources en saison sèche**

Paramètres	Sites des prélèvements					
	Buhama	BF Ep Ihemura	BF Mulimbule	Kalimbi	BF Nyakayaga	BF Nyabaronko
OD (mg/L)	19	14,4	11,8	14,6	13,6	11,4
DT (°F)	7,52	7,7	8,59	6,44	6,09	6,8
Dca (°F)	5,728	6,09	7,34	5,91	3,76	4,83
DMg (°F)	1,79	1,61	1,25	0,54	2,33	1,97
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	25	31	48	21	22	23
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	56,64	86,1	87,36	83,52	67,2	90,24
Alcalinité (mg/L)	34	35	42	39	35	35
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	5,6	8,2	6	6,4	12,8	7,2
DCO (mg/L)	2	8,8	8,2	8	3,8	4,8
TP (umol/L)	0,36	0,35	0,56	0,6	0,46	0,4
PO <sub>4</sub> <sup>---</sup> (umol/L)	0,49	0,22	0,49	0,55	0,45	0,21
TN (umol/L)	1,87	1,82	0,76	0,64	0,7	0,97
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (umol/L)	0,93	0,28	0,34	0,19	0,2	0,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (umol/L)	1,01	0,75	0,43	0,53	0,26	0,77
T°C	20,5	21,2	22,5	23,7	22,8	23,8
pH	7,51	7,07	7,07	7,38	7,18	6,1
EC uS/cm	258	253	308	285	243	248
TDS (mg/L)	130	127	153	143	121	126
DEBITS (L/s)	3,3	0,6	0,18	0,4	0,4	0,4

De ce tableau 1, on constate une valeur maximale de l'oxygène dissous pendant la saison sèche de 19 mg/L et la valeur minimale de 11,4 mg/L ce qui signifie que l'oxygène dissous varie d'un site à l'autre, Mais les valeurs obtenues dans ces sites sont supérieures à la valeur recommandée par OMS (1978) pour les eaux de consommation, Ces eaux sont donc bien oxygénées, Pour les valeurs de la demande biologique en oxygène pendant cinq jours et la demande chimique en oxygène, les maximum sont respectivement de 12,8 mg/L et 8,8 mg/L et les minimum de 5,6 mg/L et 2 mg/L. Ces valeurs sont comprises dans le seuil des eaux domestiques (Bagalwa et al., 2015). La température varie aussi d'un site à l'autre avec un maximum de 23,8 °c au BF Nyabaronko et une valeur minimum de 20,5°C à Buhama, ces valeurs obtenues sont inférieures aux normes internationales qui nous donne de valeur <30°C. La conductibilité électrique des sites échantillonnés varie entre un maximum de 308 µS/cm et un minimum de 243 µS/cm pendant la saison sèche. Des valeurs qui sont inférieures aux normes de l'OMS(1978). Les solides totaux dissous sont aussi inférieurs avec un maximum de 153 mg/L et un minimum de 121 mg/L pendant la saison sèche. Les valeurs de pH sont telles que le maximum est de 7,51 à Buhama et le minimum est de 6,1 au BF Nyabaronko. La valeur maximale rencontre les normes de l'OMS mais celle minimale est inférieure à celle recommandée par l'OMS (Bagalwa et al., 2015). Ces variations dans les différents paramètres physico-chimiques des nutriments (TN, TP, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>,

$\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{Cl}^-$ ) sont dues à la nature à la fois du sol et de l'environnement des sites de prélèvement des échantillons (Bagalwa *et al.*, 2015).

Durant la saison de pluie, les résultats des analyses physicochimiques sont consignés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 2. Résultat des analyses physico-chimiques des eaux de ces deux sources en saison de pluie**

Paramètres	Sites de prélèvement					
	Buhama	Ihemura	Mulimbule	Kalimbi	Nyakayaga	Nyabaronko
OD (mg/L)	14	13,6	13,4	11,4	12,8	11,2
DT (°F)	6,09	4,30	5,01	6,44	6,62	8,06
Dca (°F)	4,30	3,58	4,65	5,91	5,37	6,09
DMg (°F)	1,79	0,72	0,36	0,54	1,25	1,97
$\text{Cl}^-$ (mg/L)	22	28	35	20	21	20
$\text{SO}_4^{2-}$ (mg/L)	40,32	55,68	57,6	69,12	104,64	108,48
Alcalinité (mg/L)	34	35	42	39	35	35
$\text{DBO}_5$ (mg/L)	4,4	5	5,2	2,8	4	2,8
DCO (mg/L)	17,11	20,50	21,39	16,76	19,98	17,65
TP (umol/L)	0,47	0,12	0,56	0,44	0,22	0,54
$\text{PO}_4^{3-}$ (umol/L)	0,44	0,08	0,42	0,34	0,14	0,30
TN (umol/L)	1,75	1,80	7,70	5,07	1,87	1,87
$\text{NH}_4^+$ (umol/L)	0,98	0,99	1,16	1,24	1,44	1,13
$\text{NO}_3^-$ (umol/L)	1,69	1,73	0,87	0,47	0,25	0,32
T° (en °C)	20	20	20	22	21	21
pH	8,80	8,71	7,98	8,26	7,96	7,65
EC uS/cm	258	253	330	285	243	248
TDS (mg/L)	130	127	153	143	121	126
DEBITS (L/s)	5,1	3,7	2,8	4,3	4,6	3,4

De ce tableau 2. Il ressort que l'oxygène dissous varie de 14 mg/L (Buhama) à 11,2 mg/L (Nyabaronko) durant la saison des pluies. La demande biologique en oxygène après 5 jours d'incubation et la demande chimique en oxygène, ont des maximums respectifs de 5,2 mg/L et 21,39 mg/L et des minimums de 8,2 mg/L et 17,11 mg/L. La température varie d'une source à l'autre avec un maximum de 22 °C à Kalimbi et une valeur minimum (20 °C) à Buhama. Les valeurs obtenues sont inférieures aux normes internationales qui nous donne de valeur <30°C (Bagalwa *et al.*, 2015). La conductibilité électrique (EC) des sites dans ces aires de santé, varie d'un maximum de 330  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et un minimum de 243  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pendant la saison de pluie. Ces valeurs sont toujours inférieures aux normes de l'OMS (1978). Les solides totaux dissous sont aussi inférieurs avec un maximum de 153 mg/L et un minimum de 121 mg/L pendant la saison de pluie. Une valeur maximale de la dureté totale a été obtenue au BF nyabaronko (8,06 °F) et une valeur minimale à Ihemura de 4,03 °F. La dureté calcique était plus élevée dans les échantillons d'eau de la BF Nyabaronko (6,09 °F) et moins élevée dans les échantillons d'eau de Ihemura (3,58 °F). Pour la dureté magnésique la valeur la plus élevée dans les échantillons d'eau est de nyabaronko (1,97 °F) et la moins élevée dans les échantillons d'eau est de mulimbule (0,36 °F). Ces valeurs sont toutes inférieures aux normes de l'OMS pour les eaux des boissons comme déjà dit en saison sèche. Ceci montre que ces sites ont des eaux douces et non chargées par des cations qui peuvent les rendre des eaux dures (Bagalwa, 2016).

Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) varient dans les sites entre un maximum de 35 mg/L et un minimum de 20 mg/L. Quant aux sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) la valeur maximale de 108,48 mg/L et la valeur minimale de 40,32 mg/L pendant la saison de pluie. Ces valeurs restent toujours inférieurs à la valeur recommandée (200 mg/L) par l'OMS (1978).

Le Phosphore total (TP) a une valeur maximale de 0,56  $\mu\text{mole}/\text{L}$  et une valeur minimale de 0,12  $\mu\text{mole}/\text{L}$  et le phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) avec une valeur maximale de 0,44  $\mu\text{mole}/\text{L}$  et une valeur minimale de 0,08  $\mu\text{mole}/\text{L}$ . Ces valeurs sont inférieures à 10 mg/L qui sont recommandées par les normes internationales (Bagalwa *et al.*, 2015). L'azote total (TN) a une valeur maximale de 7,70  $\mu\text{mole}/\text{L}$  et une valeur minimale de 1,75  $\mu\text{mole}/\text{L}$  pour la saison de pluie et le Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) avec une valeur maximale

de 1, 73  $\mu\text{mole/L}$  et comme valeur minimale de 0,25  $\mu\text{mole/L}$  durant la saison de pluie. Quant à l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), on a obtenu une valeur maximale de 1,44  $\mu\text{mole/L}$  et une valeur minimale de 0,98  $\mu\text{mole/L}$  pour la saison de pluies. Les Débits de nos sites sont compris entre les valeurs de 5,1 L/s et de 2,8l/s durant la saison de pluie.

### 3.2 PARAMÈTRES BACTÉRIOLOGIQUES DE L'EAU DES AIRES DE SANTÉ DE LEMERA ET KASHEKE EN FONCTION DE SITES DE PRÉLÈVEMENTS ET DES SAISONS

Les analyses bactériologiques de l'eau de ces deux aires de santé durant notre période d'étude sont présentées dans le tableau suivant.

**Tableau 3. Résultat des analyses bactériologique des eaux des sources BUHAMA et KALIMBI, As lemera et de Kasheke :**

	Saison Sèche					Saison de pluie				
	<i>Enterobacter</i>	<i>Klesbiella</i>	<i>Hafnia</i>	<i>E. coli</i>	<i>Citrobacter</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Klesbiella</i>	<i>Hafnia</i>	<i>E. coli</i>	<i>Citrobacter</i>
Captage Buhama	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BF Ithemura	1900	3000	1431	543	213	0	0	0	0	1221
BF Mulimbule	1400	43	0	1345	0	1234	2100	2134	543	0
Captage Kalimbi	1134	2600	2341	1410	3452	0	0	0	0	987
BF Nyakayaga	2957	0	0	3800	0	213	0	435	789	0
<sup>BF</sup> Nyabaronko	2000	0	456	2341	404	2134	1200	0	0	768

De ce tableau 3, on remarque que 4 germes dont *Enterobacter*, *Klesbiella*, *Hafnia*, *E. coli* ont été retrouvés dans les eaux de 6 sites de prélèvements (Buhama, Ithemura, Mulimbule ,Kalimbi, Nyakayaga et Nyabaronko).

En saison sèche, L'*Enterobacter* et *E. coli* ont été trouvé dans tous les sites sauf le site de Buhama; *Klesbiella* dans les sites de Ithemura, Mulimbule et Kalimbi; *Hafnia* dans les sites Ithemura, Kalimbi et Nyabaronko et *Citrobacter* a été trouvé à Ithemura, Kalimbi et Nyabaronko ;

En saison de pluie, L'*Enterobacter* a été trouvé dans les sites de Mulimbule, Nyakayaga et Nyabaronko; *Klesbiella* dans les sites de Mulimbule et Nyabaronko; *Hafnia* dans les sites Mulimbule et Nyakayaga ; *E. coli* dans les sites Mulimbule et Nyakayaga et *Citrobacter* a été trouvé à Ithemura, Kalimbi et Nyabaronko. Le site de Buhama est le seul dans lequel, on n'a pas trouvé des bactéries. Ceci s'explique par le fait que le site de Buhama est situé à la périphérie du PNKB où il ne connaît aucune perturbation environnementale comme les activités anthropiques, abreuvements et érosions. Ces 5 autres sites sont suspectés de transmettre des maladies à la population bénéficiaire. Les causes de ces infections sont principalement les casses non réparés le long de la tuyauterie, les saletés observées autour de ces sites, la divagation des animaux en amont des sites, la présence des débris végétaux, l'agglomération de la population aux alentours du site, les champs de cultures et les installations sanitaires en amont de ces sites.

## 4 CONCLUSION

Notre étude a été réalisée dans les aires de santé de lemera et Kasheke dans la localité de kasheke, zone de sante de kalehe. Elle consistait à faire des analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux de boissons des sources Buhama et Kalimbi dans ces aires de santé. Les analyses physico-chimiques nous ont permis de tester qualitativement et de déterminer quantitativement différentes substances chimiques contenues dans les eaux de ces sources. Ces eaux en générales sont dans les normes recommandées par l'OMS pour l'eau de boisson. Mais du point de vue bactériologique, il apparait que certains sites seraient pollués et sont porteuses des germes qui peuvent nuire à la santé de la population causant des maladies hydriques. Par rapport aux résultats d'analyses bactériologiques, il s'avère que la population est ignorante vis-à-vis des germes que ces eaux porteraient et qui rendraient à certains endroits l'eau de source impropre à la consommation avant un traitement adéquat visant à éliminer les germes nocifs à la santé humaine.

Ainsi, les mesures de lutte contre cette pollution microbiologique visant à mettre en place un comité appuyé par les leaders politico-administratifs pour la gestion d'eau et la sensibilisation de la population sur la gestion d'eau et les maladies hydriques doivent être prises avant que la situation ne devienne plus dangereuse.

## REFERENCES

- [1] Afnor (Agence Française de Normalisation), 2001, Eau-méthodes d'essai, In : Recueil des normes françaises (6<sup>e</sup> édition), La Défense, Paris, 23 p.
- [2] APHA (American Public Health Association), 1989, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th edition, Washington DC, USA, 1587p.
- [3] Azanga E., 2013. Sediment and nutrient hotspot areas dynamics in selected micro-catchment of the Lake Tanganyika basin in Democratic Republic of Congo. Thesis Master, Maker ere University, 97 p.
- [4] Bagalwa M., 2005. Environmental impact of land use change on water quality of inflowing tributaries of Lake Kivu. In E.Odada, D Olago, W. Ochola, M. Ntiba, S. Wandiga N. Gichuki and H. Oyieke, 11<sup>th</sup> World Lakes Conference Nairobi, Proceedings Vol 2, 379 – 383.
- [5] Bagalwa M., 2006, The Impact of Land Use on Water Quality of the Lwiro River, Democratic Republic of Congo, Central Africa, African Journal of Aquatic Science, Vol, 31, No, 1, 137-143.
- [6] Bagalwa M, Karume K,, Iragi K,, Kubisimbwa M,, Burume N,, Ndahama N,, Bayongwa C,, 2015. Caractérisation physico-chimique et identification des espèces végétales indicatrices des eaux thermales de Katana, Sud-Kivu, République Démocratique du Congo, Afrique Science, 11, 5, 406 – 421.
- [7] Bagalwa M,, Karume K,, Bayongwa C,, Ndahama N,, Ndegeyi K., 2013. Land-use Effects on Cirhanyobowa River Water Quality in DR Congo, Greener Journal of Environment Management and Public Safety, Vol, 3, 1, 21 – 30.
- [8] Bagalwa M., Zirirane N., Pauls S. U., Karume K., Ngera M., Bisimwa M., Mushagalusa N. G., 2012, Aspects of the Physico-Chemical Characteristics of Rivers in Kahuzi-Biega National Park, Democratic Republic of Congo, *Journal of Environmental Protection*, 3, 1590-1595.
- [9] Bawili B.A., 2016. Contribution a l'étude de l'abondance et la diversité des mollusques dans le groupement de Mbinga-sud, territoire de kalehe. TFC, inédit, ISP/Kabare, 46 p.
- [10] CA, 2007 Comprehensive Assainissement of water Management in Agriculture, Water for Food, Water for Life. 54p.
- [11] CEAEQ (Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec), 2005, Recherche et dénombrement des entérocoques : méthode par filtration sur membrane, MA, 700-Ent 1,0, Rev, 3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 23 p.
- [12] Elmund G,K,, Allen M,J,, Rice E,W,, 1999, Comparison of *Escherichia coli*, total coliform and fecal coliform population as indicators of wastewater treatment efficiency, *Water Environ, Res*, 71, 332 – 339.
- [13] Emmanuell E.,Theleys K., Mompont M., Blanchard JM., Perrodin Y., 2004. Evaluation des dangers environnementaux liés au rejet des eaux urbaines dans la baie du Port-au-Prince en Haïti, Submitted : Livre « Eaux et Environnement » du Réseau « Droit de l'environnement » de l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF), Port-au-Prince, 15p.
- [14] Gleeson C. et Gray N., 1997. The coliform index and waterborne disease, E & F,N, spoon, 194p.
- [15] Golterman H.L., Clymo R.S., Ohnstad M.A.M., 1978. Methods for physical and chemical analysis of fresh waters, Blackel scientific publication, London, 213 p.
- [16] Kajivunira M., Bugoma M., Maheshe ., 2015. Evaluation des sources d'eaudans le groupement rural d'Irhambi/Katana, *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 13, 37 – 49.
- [17] Lesne J., Baleux B., Bousaid A., Hassani L., 1991. Dynamics of non O1 *Vibrio cholera* in experimental sewage stabilization ponds under arid Mediterranean climate, *Water Sci, Technol*, 22, part 2.
- [18] Lipp E.,K., Rivera I. N. G., Gil A. I., Espeland E., Choopun N., Louis V. R., 2002.Direct detection of *Vibrio cholera* and ctx by PCR in Peruvian coastal water and plankton, *Appl, Environ, Microbiol*, 69, 3676 – 3680.
- [19] Nabulangalire C., 2015. Perception et attitude de la population sur l'eau de boisson dans le groupement d'Irhambi/Katana, cas de la localité de Mabungu, TFC, Université de Proximité, Katana, 34p.
- [20] OMS, 1978. Directive de qualité pour l'eau de boisson. Genève, 130p.
- [21] OMS, 2006. Les facteurs environnementaux sont la cause 24 % de maladie <http://www.futurescience.com>.
- [22] PNUF, 2011, Problématique de l'eau en République Démocratique du Congo : Défis et opportunité, Programme de Nation Unies pour l'environnement,
- [23] Tshibangu K., 2005. La problématique de la gestion intégrée des ressources en eau en République Démocratique du Congo : Analyse et stratégies, Mémoire Université de Kinshasa, 54p.
- [24] USAID, 2002. Enquête nationale sur la situation des enfants et des femmes MICS/2001, Rapport d'analyse, UNICEF, Kinshasa, 30P.
- [25] Wetzel R.G., Likens G.E., 2000. Limnological analysis, Springer, 429p.
- [26] WWDR, 2006, World water Development Report, Water a shared Responsibility, UNESCO, Paris, France
- [27] Zahradnik P., 1981. Methods for chemical Analysis of Irland Waters. Lecture note for the international Post graduate training course on limnology. LimnologischesInstitutOsterreichischeAkademic der Wissenschaften, 31 p.