

Étude de la pollution organique totale et fécale dans les systèmes aquatiques de l'Est de la République Démocratique du Congo

N. NDAHAMA¹, M. BAGALWA² et C. BAYONGWA²

¹*Département de l'Environnement, Centre de Recherche en Sciences Naturelles, RD Congo*

²*Département de Biologie, Centre de Recherche en Sciences Naturelles, RD Congo*

* Correspondance, courriel : mashibagalwa@yahoo.fr

Résumé

Des analyses préliminaires des pollutions organiques totales et fécales des eaux de deux cours d'eau et trois étangs piscicoles de l'Est de la RD Congo ont été réalisées en utilisant les méthodes chimiques (O_2 , DBO_5 , DCO) et biologiques (bactériologie, étude des macro-invertébrés et algues). Les résultats obtenus montrent que certaines eaux sont non-polluées et d'autres sont peu polluées par les matières organiques totales. Tandis que toutes ces eaux sont polluées par des parasites fécaux à divers degrés.

Mots-clés : *pollution, organique, bactériologique, systèmes aquatiques, RD Congo.*

Abstract

Study of total organic pollution and fecal in aquatic ecosystem of Eastern democratic of Congo

Preliminary analysis of organic and fecal pollution of water in two river and three pond of Eastern of DR Congo was realized using chemical methods (DO , BOD_5 , COD) and biological (bacteriology, macro-invertebrate and algal). The results obtained shown that some water was no polluted and others more polluted by total organic matter. But, all the water was polluted by fecal parasites at variable degree.

Keywords : *pollution, organic, bacteriological, aquatic ecosystems, DR Congo.*

1. Introduction

La pollution organique et bactériologique constitue un risque réel pour les eaux naturelles du Sud-Kivu en général et de Katana en particulier car ces eaux servent de dépotoirs des déchets divers (déchets domestiques, agricoles et pastoraux) et collectent les eaux usées provenant des agglomérations [1]. En plus, elles sont utilisées par les populations pour leurs besoins domestiques, agricoles et pastoraux sans être traitées ni contrôlées. Pour ces raisons, il est nécessaire de comprendre parfaitement ces eaux, comme écosystèmes, pour assurer un développement sain et durable comme le soulignent certains auteurs [2-4]

A notre connaissance, les études sur les pollutions organique et bactériologique sont encore rares et celles déjà réalisées concernent la pollution des affluents majeurs des bassins du lac Tanganyika [5,6] et du lac Kivu [1,7]. Les autres études sur la pollution concernent les indicateurs de pollution spécialement les macroinvertébrés aquatiques [8]. Il n'existe donc pas encore une étude bactériologique et chimique à la fois pour caractériser la pollution des eaux de surface utilisée par la population dans cette région. Et pourtant, plusieurs maladies hydriques sont signalées dans le monde par l'utilisation des eaux sans traitement préalable.

En effet, beaucoup des maladies infectieuses sont transmises par l'eau à travers la voie orale de matières fécales. D'après un rapport de l'Organisation Mondiale de la Santé cinq millions de nourrissons et d'enfants meurent chaque année de maladies diarrhéiques dues à la contamination des aliments ou de l'eau de boisson et met environ 1/6^e de la population mondiale malade [9,10]. L'eau est vitale pour l'existence dans la vie et cependant elle peut être aussi une source de maladie. Son importance dans notre vie journalière montre qu'il est impératif de faire des examens microbiologiques et physico-chimiques des eaux que nous utilisons dans nos activités quotidiennes.

Cette étude s'intéresse à déterminer la situation de la pollution des eaux naturelles utilisées par la population et le bétail en vue de prévenir les maladies d'origine hydrique et de sauvegarder les écosystèmes aquatiques contre les différentes agressions extérieures. La présente étude constitue donc le point de départ d'un programme de surveillance des eaux utilisées par la population de la région de Katana.

2. Matériel et méthodes

2-1. Description du milieu

Les investigations ont été réalisées dans les ruisseaux Kalengo et Birunga et trois étangs piscicoles (K₁, K₄ et K₅₀) du projet agro-piscicole (BIKA) situés à Lwiro (longitude 28°48' E; latitude 2°15'; altitude 1740 m). Il a un climat tropical humide comprenant une longue saison de pluie de 9 mois (Septembre à Mai) et une courte saison sèche de 3 mois (de Juin à Août). La température annuelle moyenne de l'air est de 19,5°C et l'humidité relative varie entre 68 % à 75% (service climatologique du CRSN-LWIRO, 1973-1993).

Les ruisseaux Kalengo alimente les étangs et les champs irrigués du projet Bika et reçoit également les eaux évacuées de ces milieux. Il traverse d'amont en aval les villages et les champs cultivés et reçoit leurs déchets domestiques, agricoles et animaux. Il est utilisé par les populations pour les besoins domestiques (boisson, lessive, baignade) et agricoles (rouissage de manioc, abreuvement des animaux, etc...). Ses berges sont couverts par les plantes supérieures (*Cyperus lotifolia*, *Drymaria cordate*, *Cynodon dactylon*, *Comelina diffusa*, *Digitaria sp*, *Galinzoga parviflora*, *Panicum repens* et *Pennisetum purpureum*). Trois sites d'étude ont été choisis dans ce ruisseau en fonction de leur fréquentation par les personnes.

Le ruisseau Birunga, quand à lui alimente les parcelles cultivées du projet Bika. Il traverse les villages, reçoit les déchets divers de l'hôpital pédiatrique de Lwiro et dessert les populations de la même manière que le ruisseau Kalengo. Il sert aussi à l'abreuvement des animaux domestiques (bovins, ovins, caprins et porcs). Sa végétation riveraine est identique à celle de Kalengo et trois sites ont également été choisis dans ce ruisseau pour les mêmes raisons déjà évoquées. En général ces deux ruisseaux sont lents à l'exception de leur partie aval non considérée par notre étude. Trois étangs piscicoles surnommés K₁, K₄ et K₅₀ ont également été choisis dans cette étude car la population utilise aussi les provenant de ces étangs dans leurs activités quotidiennes.

Ces étangs sont destinés à la culture des poissons *Tilapia* nourris artificiellement par les déchets agricoles et domestiques entassés dans leurs composts et naturellement par les phytoplanctons, les périphytons et les macro-végétaux qui y poussent. On y trouve également des plantes aquatiques supérieures telles que *Eichornia sp*, *Lemnae sp*, *Nymphae sp*, *Cyperus lotifolia*, *Comelina diffusa*, *Panicum repens* et *Rumex abissinika*. La présence des excréments humains et animaux sont signalés à coté de ces étangs.

2-2. Prélèvement des échantillons d'eau et analyses chimique et bactériologique

Trois échantillons d'eau ont été prélevés dans chaque site entre 9 et 10 heures du matin durant la période d'étude. Pour chaque échantillon, les caractéristiques physico-chimiques ci-après ont été mesurées : le pH et la température de l'eau par la méthode instrumentale en utilisant un pH mètre et dont un thermomètre y est incorporé. Le pH mètre est étalonné avant chaque manipulation. On lit directement la température exprimée en degré celcius (°C) et le pH. La Demande biologique en Oxygène, Demande chimique en Oxygène et la Demande chimique en Oxygène ont été analysés au laboratoire du Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro par titrage [7,11,12]. L'oxygène dissout a été fixé sur le terrain et le DBO₅ incubé dans le noir à 20 °C pendant 5 jours avant le titrage par la méthode iodométrique de Winkler [11,12]. La demande chimique en oxygène par les méthodes habituelles utilisant un oxydant fort le permanganate de potassium [13-14].

Les analyses bactériologiques des différents échantillons d'eau ont consistée 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 coût des analyses. Les caractéristiques bactériologiques ont été déterminés après culture sur milieux non-sélectifs (gélose) et sélectifs (Eosine bleu de méthylène, Hektonen gélose, conkey gélose, Mannitol thiosulfate citrate et Brillant vert) bien connus en bactériologie [15,16]. Les germes totaux et les germes fécaux ont été recherchés. L'indice de pollution organique basé sur les germes totaux a été calculé suivant les normes I.H.E. connus en bactériologie.

2-3. Récolte des macro-invertébrés aquatiques

L'étude des macro-invertébrés aquatiques a été appréhendée en vue de compléter les analyses chimique et bactériologique déjà décrites au point 1. A cet effet, les échantillons de ces animaux (insectes, mollusques, vers, etc...) ont été récoltés à l'aide d'un filet à plancton (30 x 20 Cm) par une personne pendant 10 minutes dans chaque site. Ils ont été triés à l'aide d'une pince manuelle et identifiés suivant les clés de Poisson [17] et Micha [18]. L'indice biotique a été calculé par la méthode de Tuffery et Vernaux [19]. Le spectre (nombre de taxa) et le quanta (nombre d'individus par espèce/10 minutes de récolte) ont été également été déterminés.

2-4. Prélèvement de périphytons algal

L'étude de périphytons algal a été réalisée en vue de compléter et comparer les trois études précédentes (chimie, bactériologie et macro-invertébrés) de l'analyse des pollutions organiques des eaux. Les algues benthiques ont été raclées sur 1 Cm² des feuilles mortes se trouvant dans le fond des eaux étudiées. L'échantillon ainsi obtenu a été dissout dans 1 ml d'eau distillée. Puis trois aliquotes de 0,1 ml chacun ont été déposés sur des lames porte-objet, couverts par des lamelles couvre objet et observés au microscope optique au grossissement x 400. Les algues ont été identifiées à l'aide de clés de détermination de Van Meel [20], Kuffereth [21], Cox [13] et Maillard [22]. Après comptage, leurs quanta et spectre ont été calculés. Le rapport entre algues non-tolérantes et algues tolérantes (ANT/AT) de pollution organique a également été déterminé.

3. Résultats

3-1. Caractéristiques physico-chimiques des eaux (température et pH)

Tableau 1 : *Caractéristiques physico-chimiques, organiques, bactériologiques des sites prospectés*

Caractéristiques	K ₁	K ₄	K ₅₀	RK ₁	RK ₂	RK ₃	RB ₃	RB ₂	RB ₁
1. Physico-chimiques									
T° (en ° C)	21.5	24.5	22.5	22.5	22.0	21.5	22.5	21.0	21.5
pH	5.5	5.5	5.3	5.3	5.3	5.5	5.5	5.5	5.5
Oxygène dissous (mg/L)	2.3	2.6	2.4	6.1	6.6	6.5	4.3	4.0	4.5
BDO ₅ (en mg/L)	3.6	4.1	3.7	0.9	1.3	1.3	1.3	0.9	1.4
DCO (en mg/L)	1.4	1.2	1.8	0.8	0.6	0.9	2.4	2.6	2.6
2. Bactériologiques									
Germes totaux (en nombre/mL)	5000	10000	10000	4000	800	3000	1600	4700	700
Indice bactériologique	4	3	3	4	5	4	5	4	5
Germes spécifiques									
<i>Escherichia coli</i>	1400	3800	6400	3000	800	2000	-	3800	-
<i>Hafnia</i>	1600	-	-	1000	-	-	1600	900	-
<i>Enterobacter</i>	2000	3600	3600	-	-	-	-	-	-
<i>Klesbiella</i>	-	-	-	-	-	1000	-	-	-
<i>Providencia</i>	-	2600	-	-	-	-	-	-	-
<i>Edwardsiella</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	700
3. Biologiques									
3.1. Periphyton algal									
Quanta (Nbre /Cm ²)	12420	15972	6380	4650	5521	2508	6740	3690	4508
Spectre (Nbre de taxa)	25	22	10	11	17	13	11	11	11
ANT/AT	1.6	2.9	3	2.3	3.1	2.6	2.4	4.2	2.9
3.2. Macro-invertébrés									
Quanta (Indiv /10 min)	162	66	9	84	98	66	113	320	47
Spectre (de taxa)	13	12	9	13	5	9	16	16	16
Indice biotique	7	6	4	6	6	5	5	6	7

On constate dans le **Tableau 1** que toutes les eaux étudiées sont tièdes avec une température comprise entre 21°C et 24°C et acide avec un pH compris entre 5,3 et 5,5. Cette température supérieure à la température ambiante (19,5° C) est due à la présence de sources d'eau chaude à proximité des écosystèmes aquatiques étudiés et cette acidité des eaux provient des marais Lushala. Ces deux facteurs réunis conditionnent la vie des organismes aquatiques dans ces eaux notamment les macro-invertébrés et les bactéries, témoins de pollutions organiques.

3-2. Pollution organique totale

Les données relatives à la pollution organique totale notamment, l'O₂ dissous, le DBO₅, le DCO, les germes totaux, l'indice bactériologique et l'indice biotique sont consignés dans le **Tableau 1**. La combinaison des résultats de l'O₂, du DBO₅, des germes totaux et de l'indice bactériologique montre que :

Les étangs K₁, K₂ et K₅₀ sont peu pollués et se trouvent, par conséquent dans la zone mesosaprobe à β mesosaprobe. Pour le ruisseau Birunga (RB₁, RB₂, RB₃) est non-pollué jusqu'à présent et se trouve dans la zone oligosaprobe. Quand au ruisseau Kalengo (RK₁, RK₂, RK₃) est aussi non-pollué pendant la période de l'étude et se trouve dans la zone oligosaprobe. La pollution organique des étangs peut être expliquée par la présence des déchets organiques divers que nous y avons relevés. Tandis que la non-pollution de Kalengo où la pollution beaucoup faible de Birunga pourrait être liée à l'autoépuration accélérée par la vitesse du courant qui favorise le renouvellement et l'aération de l'eau ainsi que le transport des déchets organiques vers l'aval.

Cependant, l'analyse de l'indice biotique montre des variations indépendantes des paramètres déjà décrits ci-dessus. Ainsi, ne sont considérées eaux polluées que l'étang K₅₀, le site RK₃ du Kalengo et le site RB₃ du Birunga. Il apparait une confirmation de la situation de la pollution des milieux K₅₀ et RB₃ probablement à cause des charges organiques relativement beaucoup plus importantes que celles des autres. Pour rappel, le K₅₀ avait une forte charge en excrément des chèvres au moment de notre étude et le RB₃ est situé en aval des autres sites de ce ruisseau et donc, reçoit tous les déchets organiques des milieux en amont. Par contre, il apparait une contradiction sur la situation de la pollution du milieu RK₃ ainsi que des sites RB₁ et RB₂. Cette contradiction pourraient s'expliquer d'une part par l'hypothèse selon laquelle le milieu RB₃ était plus pollué organiquement avant notre étude et devenu normal au moment de l'étude, mais les effets cumulés passés de cette pollution restent encore ressentis par les macro-invertébrés.

Cette hypothèse est possible car le RK₃ est en aval du Ruisseau Kalengo et reçoit tous les déchets organiques en amont et les eaux polluées provenant des étangs. Et d'autres part, par l'hypothèse selon laquelle les milieux RB₁ et RB₂ venaient récemment d'être pollués au moment de notre étude et étant donné que cette pollution est très faible, ses effets cumulés n'avaient pas encore atteint les macro-invertébrés comme on peut le voir dans le tableau des macroinvertébrés dans les différents sites.

Tableau 2 : Inventaire des macroinvertébrés

Taxa/Genre	K ₁	K ₄	K ₅₀	RK ₁	RK ₂	RK ₃	B ₁	B ₂	B ₃
Ephémères									
1. Baetidae									
Baetis	+	-	-	-	-	-	+	+	+
Acantrella	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Cloeon	+	-	-	-	-	-	-	+	+
2. Caenidae									
Caenis	+	-	-	-	-	-	+	+	+
Coenodes	-	-	-	-	-	-	+	+	+
3. Leptophebiidae									
Adenophiebia	-	+	-	-	+	-	+	-	-
Adenophiebiobes	-	-	-	-	+	+	-	-	-
4. Tricolylthidae									

Ephemerythus	-	-	+	-	+	-	-	+	-
Odonates									
1. Libellulidae	-	-	+	+	+	-	+	-	+
2. Corduliidae	-	-	-	+	-	-	-	-	-
3. Aeschnidae	-	-	+	-	-	-	+	+	+
4. Coenagrionidae	-	-	+	+	+	+	+	+	+
5. Chlorocyphidae	+	-	+	-	-	-	-	-	-
6. Gomphidae	-	-	+	-	+	-	+	+	+
Coléoptères									
1. Gyrinidae	-	-	-	-	+	-	+	+	+
2. Psephenidae	+	+							
Hétéroptères									
1. Corixidae	+	+	-	-	-	-	+	+	-
2. Pleidae	+	+	-	+	-	-	+	+	-
3. Notonectidae	+	+	-	+	-	-	+	-	-
4. Gerridae	+	+	+	-	+	+	+	+	+
5. Veliidae	-	-	-	+	-	-	+	+	+
6. Mesoveliidae	-	-	-	-	-	-	-	+	+
7. Helophiliidae	+	-	-	+	+	+	+	+	-
8. Hydrophilidae Hydrophilus	-	+	-	+	+	+	+	-	+
9. Haliphilidae	+	+	-	-	+	-	-	+	+
10. Dytiscidae Dytiscus	-	+	-	-	+	-	-	-	-
Trichoptères									
1. Polycentropodidae	-	+	-	-	-	-	-	-	-
2. Chiromidae Chiromus	+	+	+	+	+	+	+	+	+
3. Ceratopogonidae	-	+	-	-	-	-	-	-	-
4. Psychodidae Psychoda	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Diptères									
1. Tipulidae	-	-	+	-	-	-	-	-	-
2. Ephyridae	+	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL									

Légende : + : Présence de la famille et - : Absence de la famille

Ces hypothèses méritent d'être d'être vérifiées ultérieurement par des études beaucoup plus approfondies. Cette contradiction des méthodes méritent d'être levée par des analyses biologiques beaucoup plus détaillées (examen des malformations buccales de chironomidés par exemple). Toutefois, pour le moment, nous pouvons accepter que tous les milieux étudiés sont faiblement pollués par les matières organiques à l'exception des milieux K₁ et K₂. En outre, l'examen du rapport ANT/AT non (nombre d'algue non-tolérantes/nombre d'algue tolérante) (*Tableau 1*) montre également des variations indépendantes d'un milieu d'étude à un autre.

Cependant, étant donné que ce rapport est partout supérieur à 1, ceci nous rassure de la bonne qualité des eaux étudiées en général malgré les cas de pollution sectoriels enregistrés. L'inventaire des algues dans les différents sites sont repris dans le **Tableau 3**.

Tableau 3 : *Variation de la distribution des peryphyton récoltés dans les ruisseaux Kalengo et Birunga*

Taxa	K ₁	K ₄	K ₅₀	RK ₁	RK ₂	RK ₃	RB ₃	RB ₂	RB ₁
Bacillariophycées									
Nitzschia	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Navicula	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Synedra	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Fragilaria	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Cymbella	+	+	-	-	+	-	-	-	+
Diatoma	+	+	-	+	+	+	+	-	+
Achnanthes	-	+	-	+	+	+	+	-	+
Tabellaria	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Rhizosolenia	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Melasira	+	+	-	-	-	-	+	-	+
Amphora	-	+	-	+	+	+	+	+	-
Cocconeis	+	-	-	-	-	+	-	+	-
Pinnularia	-	+	-	+	+	-	-	+	+
Epithemia	+	-	+	-	-	-	+	+	-
Hantzschia	+	-	-	+	-	+	+	-	+
Cyclotella	-	+	-	-	-	-	+		
Sirerella	+	+	-	+	+	+	+	+	-
Stephanodiscus	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Rhopodia	-	+	-	-	-	-	+	+	+
Cymatopleura	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Gyrosigma	-	+	+	-	-	+	+	+	+
Chlorophycées									
Amphiplema	+	-	-	-	-	-	+	+	+
Aphanacapsa	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Closterium	-	-	+	+	+	-	+	+	+
Coscinodiscus	-	-	+	-	-	+	-	+	+
Crucigemia	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Denticula	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Diploneis	-	-	-	-	-	-	+	+	-
Eunotia	+	+	+	-	-	-	+	+	+
Frutulia	-	-	-	-	-	+	-	+	+
Gloeocystis	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Gomphoneis	-	-	+	-	-	-	-	-	+
Gomphonema	-	-	+	-	-	-	-	-	-
Ankistrodesmus	+	-	+	-	-	+	+	+	+
Pediastrum	-	-	+	-	+	-	-	-	-
Staurastrum	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Stauroneis	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Gomphonitzschia	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Mastogloria	-	-	-	-	-	-	-	-	+
Scenedesmus	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Schroederia	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Tachelomonus	+	-	-	+	+	+	+	+	+
Glenochinium	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Gosmarium	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Schizomycetes	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Chrysophycées									
Trochelomonas	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Légende : + : Présence du taxa et - : Absence du taxa

3-3. Pollution organique fécale

Les résultats relatifs à ce point sont consignés également dans le même **Tableau 1**. On y constate que toutes les eaux étudiées sont polluées par les germes fécaux, notamment *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Hafnia*, *Enterobacter*, *Klesbiella*, *Providencia* et *Edwardsiella* à des degrés variés. Ces bactéries sont généralement non pathogènes dans le tube digestif de l'homme. Cependant, quelques variétés de *E. coli* sont pathogènes dans le tube digestif des enfants en causant des diarrhées et également dans le sang. Cette pollution fécale pourrait s'expliquer en grande partie par la présence des excréments humains et animaux (chèvres, porcs) observée en proximité de tous les sites d'étude et en petite partie par le caractère ubiquiste des germes trouvés.

4. Discussion

Comme constaté dans le présent travail, plusieurs méthodes peuvent être utilisées dans l'étude des pollutions organiques des eaux. Il s'agit notamment des méthodes chimiques (BO₅, DCO, dosage d'azote), biologiques communautaires (bactériologie, algues et macro-invertébrés) [19,23,24]. Toutes ces méthodes ont été expérimentées dans notre travail, à l'exception du dosage d'azote compte tenu des moyens techniques disponibles à notre portée. Cependant, ces méthodes présentent des limites variables. Les méthodes chimiques sont coûteuses en matériels (réactifs et appareillage) d'une part et ne sont pas sensibles aux petites variations de l'état physico-chimique de l'eau ou aux effets cumulés passés et présent de la pollution d'autre part. Ce sont donc des mesures ponctuelles [23]. La méthode bactériologique est également onéreuse en matériels (milieu de culture) mais elle montre une sensibilité remarquable même pour les petites infestations des eaux [25].

La méthode biologique alguale, basée sur le nombre d'espèces ou le nombre d'individus par espèce au sein de la communauté est souvent coûteuse en volume de travail (identification et comptage d'individus jusqu'à l'espèce) d'une part et controversée pour sa validité d'autre part [13,26]. La méthode biologique basée sur les macro-invertébrés est, cependant, la plus avantageuse de toutes les méthodes évoquées ci-dessus. Non seulement, elle est simple ne demande pas l'identification à l'espèce ni réactifs et appareillages compliqués), mais aussi, elle détecte des petites variations et des variations continues de l'état chimique de l'eau. C'est donc une méthode qui confirme et complète les résultats obtenus par d'autres méthodes de pollution. Tous ces faits ont bel et bien été constatés dans notre étude. Ainsi, eu égard à ce qui précède et des conditions socio-économiques de notre pays, le choix de méthode à utiliser pour la suite de nos travaux est porté sur l'étude des macro-invertébrés. En plus, elle est largement utile est largement utilisée dans le monde, notamment en

Europe, Amérique, Australie, Nouvelle Zélande, notamment en Europe, Amérique, Australie, Nouvelle Zélande et d'autres pays de l'Afrique [6,27]. La présence des espèces bactériennes fécales (*Escherichia coli*, *Hafnia*, *Enterobacter*, *Klesbiella*, *Providencia* et *Edwardsiella*) dans nos systèmes aquatiques constitue un danger pour la qualité de ces eaux et d'autres eaux adjacentes telles que le lac Kivu [5,28,29]. Il est donc important que des mesures éducationnelles et législatives soient prises pour protéger les écosystèmes aquatiques le plus efficacement possible. Pour ce faire, quelques recommandations ci-dessus sont formulées :

- organiser des séances d'éducation sanitaire aux populations ;
- interdire aux populations de verser des déchets domestiques, agricoles et pastoraux dans les eaux naturelles.
- construire des adductions d'eau aux populations
- construire des douches publiques
- construire des latrines publiques.

5. Conclusion

Les écosystèmes aquatiques de l'Est de la République Démocratique du Congo ont été étudiés pour déterminer l'état de leur pollution organique totale et fécale. Trois étangs piscicoles et deux ruisseaux ont été étudiés à Lwiro. Ces écosystèmes ont montrés une pollution se trouvant dans la zone mesosaprobe à β mesosaprobe pour les étangs d'une part et les ruisseaux dans la zone oligosaprobe d'autre part. Dans tous les cas, les études du suivi sur la situation de l'état de pollution organique des eaux naturelles de Lwiro méritent d'être réalisées.

Références

- [1] - M. Bagalwa. Estimation of pollution loading into Lake Kivu. Case of Kahuwa micro-catchment in DR Congo. Thesis of Master, UEA, Bukavu (2013), 71p.
- [2] - E. L. Obeng. Ecosystèmes aquatiques. Compte-rendus du symposium sur l'état de la biologie en Afrique, UNESCO, (1981), 330p.
- [3] - M. C. Dash. Fundamentals of ecology. Tata McGraw Hill, (1993), 372p
- [4] - H. Krishna, S. Hosmani, M. Jayashnakar. Physico-chemical and bacteriological parameters of Kaveri river at Talakaveri region: A comparative study. National monthly refereed Journal of Research in Science & Technology, Vol. 1(6) (2012) 1-15.
- [5] - S. Bigawa, A. Vandelonnoote, F. Ollevier, L. Griser. L'état de la pollution bactérienne du lac Tanganyika dans la baie de Bujumbura. Journées scientifiques du CRRHA. Résumés des conférences. Journées scientifiques du CRRHA. Résumés des conférences, (1994) 7-9
- [6] - A. Vandelonnoote, S. Kimbadi, F. Vyumvuhore, L. Bitetera, P. Niyungeko, B. Theunisen, L. Janssens de Bisthoven. Les macroinvertébrés sont-ils utiles dans la détermination de la qualité d'eau des rivières de l'Afrique centrale. Journées scientifiques du CRRHA. Résumé des conférences, (1994) 11p.
- [7] - M. Bagalwa. 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 (1) (2006) 137 - 143.
- [8] - M. Bagalwa, K. Karume, C. Bayongwa, N. Ndahama, K. Ndegeyi. Land-use Effects on Cirhanyobowa River Water Quality in D.R. Congo. Greener Journal of Environment Management and Public Safety, Vol. 3(1)(2013) 21 - 30.
- [9] - WHO. Water Sanitation and Health Programme. Managing water in the home: accelerated health gains from improved water sources. World Health Organization. www.who.int, (2004).

- [10] - O. B. Shittu, J. O. Olaitan, T. S. Amusa. Physico-Chemical and Bacteriological Analyses of Water Used for Drinking and Swimming Purposes in Abeokuta, Nigeria. *African Journal of Biomedical Research*, Vol. 11 (2008) 285 – 290.
- [11] - H. L. Golterman, R. S. Clymo, M. A. M. Ohnstad. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. Blackel scientific publication, London, (1978) 213 p
- [12] - APHA, (American Public Health Association). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th edition, Washington DC, USA, (1989) 1587p.
- [13] - C. Cox. *Techniques et contrôle du traitement des eaux*. OMS, Gen, (1967) 429p
- [14] - P. Zahradnik *et al.* *Methods for chemical Analysis of Irland Waters*. Lecture note for the international Post graduate training course on limnology. Limnologisches Institut Osterreichische Akademic der Wissenschaften, (1981) 31p.
- [15] - A. P. Rohde. *Manual of products and laboratory, procedure*. Baltimore Biological Company, Division of Becton Dickinson & Co., (1968).
- [16] - J. Vandepitte, K. Enqbaek, P. Piot, C. C. Henck. *Bactériologie clinique: Technique de base pou le laboratoire*. O.M.S, Genève, (1994).
- [17] - A. Poisson. *Hétéroptères aquatiques. Exploration hydro-biologique du bassin du lac Bangwelo et du Luapula*. Vol. 14 (11) (1968) 50p.
- [18] - J. C. Micha. *Pollution de l'eau*, Inédit, (1982).
- [19] - J. Vernaux, G. Tuffery. *Une méthode zoologique pratique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. Indices biologiques*. Ann. Sc. Univ. Besançon, Zool., Vol. 3, (1967) 79-90.
- [20] - L. Van Meel. *Etat actuel de nos connaissances sur les grands lacs Est-Africains et leur phytoplancton*. Explor. hydrobiol. Lac Tanganyika. Vol. 4, (1) (1954) 157p.
- [21] - J. Kufferath. *Quelques algues des rapides de la Ruzizi à Bugarama (Ruanda-Urundi)* Acad. Royal des sci.col. Vol. 5, (3) (1957) 62p.
- [22] - R. Maillard. *Contribution à la connaissance des diatomées d'eau douce de la nouvelle calédonie (Océanie)*. Cah. ORSTOM sér. Hydrobiol. Vol. 12 (2) (1978) 143-175.
- [23] - H. R. Singh, P. Nautiyal, A. K. Dobrival, R. C. Pokrival, M. Negi, V. Baduni, R. Nautiyal, N. K. Agarwa, P. Nautiyal, A. Gautam. *Water quality of the river Ganga (Garhwal Himalayas)*. Acta Hydrobiol. Vol. 36 (1) (1994) 3-15.
- [24] - J. C. Micha, J. L. Moiset. *Evaluation biologique de la pollution de ruisseaux et rivières par les macro-invertébrés aquatiques*, Probio Revue, Vol. 5, (1), (1982), 142p.
- [25] - T. Bednarz, A. Starzecka. *The comparison of microbial production and destruction of organic matter in the bottom sediment of streams on agricultural and forest types of catchment and sub littoral of the Dobczyce dam reservoir (southern Poland)*. Acta hydrobiol. Vol. 35 (4) (1993) 285 - 294.
- [26] - A. C. Chindah, A. I. Hart, S. A. Braides, A. Amadi. *The epibenthic algal community of the Bonny estuary, Niger Delta, Nigeria*, Acta Hydrobiol. Vol. 35 (4) (1993) 307-320.
- [27] - V. Khmeleva, A. Nesterovich, S. Czachorowski. *The macro invertebrate fauna of some Byelorussian, Karelian and Altai an springs and its relation with certain factor*. Acta hydrobiol. Vol. 36 (1) (1994) 75-90
- [28] - E. W. Taylor. *The examination of waters and supplies*. J. A. Churchill LTD, London, (1958) 841 p.
- [29] - S. Jalaluddin, P. De Mol, W. Hemelhof, N. Bauma, D. Brasseur, P. Hennart, R. E. Lomoyo, B. Rowe, J. P. Butzler. *Isolation and characterization of entero-aggregative *Escherichia coli* (EaggEC) by genotypic and phenotypic markers, isolated from diarrheal children in Congo*. Clinical Microbiology and Infection, Vol. 4(4) (1998) 213-219.