

ISSN: 3136-2646 (Version Imprimée)
ISSN: 3136-2656 (Version digitale)
Préfixe DOI Crossref : 10.66405



REVUE COMMUNAUTÉ ET DÉVELOPPEMENT DURABLE
ReCoDD

Community and Sustainable Development Journal – CSDJ Journal

Vol. 1 • N°2 • Mai 2026

*REVUE INTERDISCIPLINAIRE SUR LES QUATRE PILIERS DU DÉVELOPPEMENT
DURABLE :*

ÉCONOMIE • SOCIÉTÉ • ENVIRONNEMENT • BONNE GOUVERNANCE

Périodicité : Revue bimensuelle

Copyright © 2026 Éditions UAC

Bukavu • www.leseditionsuac.com • Mai 2026

ISBN : 979-10-983539-1-8

EAN : 9791098353918

REVUE COMMUNAUTÉ ET DÉVELOPPEMENT DURABLE

Publication bimensuelle des Éditions Universitaires de l'Afrique Centrale

Éditions Universitaires de l'Afrique Centrale

Professeur Désiré NZIBONERA BAYONGWA, Président d'honneur et fondateur

Direction de publication

Professeur MITIMA MISUKA Donat, Directeur d'Édition

CITO CIBAMBO Ferdinand, Directeur de Publication

Gloire SAFARI

SANDA WANTWALI

Comité de lecture

Professeur Désiré NZIBONERA BAYONGWA, Président d'honneur et fondateur

Direction de publication

Professeur MITIMA MISUKA Donat, Directeur d'Édition

CITO CIBAMBO Ferdinand, Directeur de Publication

Gloire SAFARI

SANDA WANTWALI

Conception graphique

Romain Bulonza, Graphiste

Comité de lecture

ABASSY ABRAHAM, Professeur Émérite, Université IRAN

ALBAGLI Claude, Université Paris Gustave Eiffel, Institut Cedimes, France

BAGISHA Michel, Professeur, UNIKAZ

BAHOGWERE MUDUNGA Lucien, Professeur, UDDAC

BASHWIRA John, Professeur, UOB et UDDAC

BAYONGWA Désiré, Professeur, UDDAC et UNIKAZ
BEN ABDENNEBI Hafedh, Université de Carthage (Tunisie)
BIRINGANINE ABRAHAM, Professeur, UDDAC
DHYVERT Denis, Président du CEDITER
GHAZOUANI Kamel, IHEC, Université de Tunis, Tunisie
GUEHAIRIA Amel, ENSSEA Alger, Algérie
Jean-Marie CIKULI, Professeur, ISP KAZIBA
JEANNE MUJIJIMA, Professeure, Rectrice de l'Université Anglicane de Bukavu
KAMBERE Thaddée Katembo, Professeur associé, UNILUK Lukanga
MASTAKI Deo, Professeur, UDDAC et UNIKAZ
MATWARA NZABANZANDE, Professeur, CEPROMAD et UNIKAZ
MIRINDI Déogratias, Professeur, UDDAC
MISUKA KAMUHA MUSOLO, Professeur, ULPGL Goma
MUGOBE Juvénal, CT, UDDAC
MUKATA BAYONGWA Patrice, ISP Bukavu
MULUMA MULANGA Albert, Professeur Émérite, UNIKIN
NARCISSE Fièvre, Université de Port-au-Prince, Haïti
NSAMAN-O-LUTU Oscar, Recteur Magnifique, CEPROMAD et UNIKIN
NSHANGO MUTAMBWE, Professeur Ordinaire, UNIKIN
ONSINE NSAMAN Angel, Professeur Ordinaire, INBTP
RISASI Richard, Professeur Ordinaire, UNIKIN
Rogatien ONDAIN ONSOOM, Professeur Ordinaire, UNIKIN
SCALERA Francesco, Université de BARI en ITALIE
SU Zhan, Université Laval, Québec, Canada
TUGEN Kamil, Université d'Izmir, Turquie
VANDERLINDEN Blandine, ICHEC Bruxelles, Belgique
ONKEN INGWEN Dady, PhD, UPN Kinshasa
YERE AFOBE Innocent, Professeur Ordinaire, UNIKIN

SOMMAIRE – Vol. 1, N° 2 (mai 2026)

ÉDITORIAL

Innovation numérique, éducation et transformation territoriale : construire les fondements d'un développement durable en Afrique centrale..... p. 1

Ebrahim ABBASSI, Professeur Émérite d'économie, CEDIMES

ÉCONOMIE ET ENVIRONNEMENT

Impact des pratiques agricoles sur les macros invertébrées benthiques de la rivière Nyabarongo (bassin du lac Kivu, RDC)..... p. 48

SOCIÉTÉ

Sécurité alimentaire et stratégies de survie des ménages dans un contexte de crise sécuritaire : cas de la ville de Goma p. 4

Stratégies d'enseignement des techniques de cuisine : étude de la contribution de la NTIC à l'ISP/Gombe..... p. 29

La révolution numérique comme levier de développement des communes rurales en République démocratique du Congo : cas de la commune rurale de Mabenga.....p. 87

ÉDITORIAL

Bâtir l'Avenir au Cœur de l'Action Collective

Ebrahim ABBASSI

Professeur Émérite d'économie, CEDIMES

C'est avec une profonde satisfaction que nous présentons aux lecteurs le deuxième numéro de la revue scientifique *Communauté et Développement Durable*, publication de l'Université de Développement Durable en Afrique Centrale (UDDAC), située à Bukavu, dans la province du Sud-Kivu en République Démocratique du Congo.

Cette nouvelle parution marque une étape supplémentaire dans la consolidation d'un espace scientifique dédié à la réflexion, à la recherche et à la diffusion des connaissances au service du développement durable. Elle témoigne également de la volonté de notre institution de promouvoir une recherche ancrée dans les réalités des territoires tout en restant ouverte aux grands débats scientifiques contemporains.

Le présent numéro s'inscrit dans une thématique particulièrement pertinente pour les pays africains en général et pour la région des Grands Lacs en particulier : **l'innovation numérique, l'éducation et la transformation territoriale**. Ces trois dimensions apparaissent aujourd'hui comme des leviers stratégiques pour répondre aux défis économiques, sociaux, environnementaux et institutionnels auxquels nos sociétés sont confrontées.

À l'heure où les territoires connaissent des mutations profondes sous l'effet des transformations technologiques, démographiques et climatiques, il devient indispensable de repenser les modèles de développement à partir des réalités locales. La transformation territoriale ne peut être réduite à une simple modernisation des infrastructures ou à un réaménagement de l'espace. Elle implique également le développement des capacités humaines, le renforcement des institutions, la valorisation des ressources locales et l'émergence d'innovations susceptibles d'améliorer durablement les conditions de vie des populations.

Dans cette perspective, l'éducation occupe une place centrale. Aucun processus de développement durable ne peut être envisagé sans un investissement conséquent dans la formation des femmes et des hommes appelés à conduire les changements de demain. Les établissements d'enseignement supérieur ont une responsabilité particulière dans cette dynamique. Ils doivent non seulement transmettre des connaissances, mais aussi produire des savoirs nouveaux, développer l'esprit critique, favoriser l'innovation et accompagner les acteurs publics et privés dans la recherche de solutions adaptées aux défis contemporains.

L'innovation numérique constitue à cet égard un facteur de transformation particulièrement prometteur. Les technologies de l'information et de la communication modifient profondément les modes d'apprentissage, de production, de gouvernance et d'échange. Elles offrent aux territoires, même les plus éloignés, de nouvelles opportunités d'intégration économique, de diffusion du savoir et d'amélioration des services aux populations. Toutefois, la révolution numérique ne pourra pleinement jouer son rôle de levier de développement que si elle s'accompagne d'investissements dans l'éducation, les compétences et les infrastructures nécessaires à son appropriation.

La question de la sécurité alimentaire constitue également l'un des défis majeurs de notre époque. Dans plusieurs régions d'Afrique centrale, les effets conjugués de l'instabilité sécuritaire, des changements climatiques, de la pression démographique et de la dégradation des ressources naturelles fragilisent les systèmes de production agricole et accentuent la vulnérabilité des ménages. Face à ces défis, la recherche scientifique est appelée à jouer un rôle déterminant en produisant les connaissances nécessaires à l'élaboration de politiques publiques efficaces et à la mise en œuvre de stratégies locales de résilience.

Les contributions réunies dans ce numéro illustrent, chacune à leur manière, les grands enjeux du développement durable dans notre région.

Le premier article analyse l'impact des pratiques agricoles sur les écosystèmes aquatiques du bassin du lac Kivu et rappelle l'importance d'une gestion durable des ressources naturelles.

Le deuxième met en évidence l'apport des technologies numériques dans l'amélioration des pratiques pédagogiques et la modernisation de l'enseignement supérieur.

Le troisième article aborde la question cruciale de la sécurité alimentaire dans un contexte de crise sécuritaire à Goma, en mettant en lumière les stratégies développées par les ménages pour faire face à la précarité.

Enfin, le quatrième montre comment la révolution numérique peut constituer un levier de développement et de transformation des territoires ruraux à travers le cas de la commune de Mabenga.

Pris dans leur ensemble, ces travaux témoignent de la diversité des problématiques auxquelles sont confrontés nos territoires, mais également de l'existence de solutions innovantes susceptibles de favoriser un développement plus durable, plus inclusif et plus résilient. Ils démontrent surtout la capacité de la recherche scientifique à éclairer les décisions publiques et à accompagner les processus de transformation sociale et économique.

La publication de ce deuxième numéro constitue également un motif de fierté pour l'Université de Développement Durable en Afrique Centrale. Institution encore jeune mais déjà reconnue pour son engagement en faveur de la recherche et du développement, l'UDDAC poursuit avec détermination sa mission de formation, de recherche et de service à la communauté. Dans un contexte marqué par de nombreuses contraintes financières et matérielles, elle continue de déployer des efforts considérables pour promouvoir l'enseignement supérieur, soutenir la production scientifique et offrir aux chercheurs un cadre d'expression et de valorisation de leurs travaux.

Cette revue représente l'un des symboles de cette ambition. Elle traduit la conviction que le savoir constitue une ressource stratégique pour le développement des territoires et que les universités africaines doivent être au cœur des dynamiques de transformation économique, sociale et environnementale. À travers cette initiative, l'UDDAC affirme sa vocation de laboratoire d'idées et d'acteur engagé au service du développement durable de la République Démocratique du Congo et de l'Afrique centrale.

Le présent numéro est avant tout le résultat des efforts soutenus d'un groupe de chercheurs profondément attachés au devenir de leur région. Malgré les difficultés auxquelles le monde académique est régulièrement confronté, ces chercheurs continuent de produire des connaissances de qualité, de participer aux débats scientifiques et de contribuer à la recherche de solutions adaptées aux réalités locales. Leur engagement mérite d'être salué et encouragé.

Nous adressons nos sincères remerciements aux auteurs, aux évaluateurs, aux membres du comité scientifique ainsi qu'à l'ensemble des partenaires qui ont contribué à la réalisation de ce numéro. Nous formulons le vœu que les analyses et les réflexions présentées dans ces pages nourrissent les débats académiques, inspirent les décideurs et encouragent de nouvelles initiatives en faveur de l'innovation, de l'éducation, de la sécurité alimentaire et de la transformation durable de nos territoires.

Plus que jamais, l'Afrique centrale a besoin d'universités dynamiques, de chercheurs engagés et d'espaces de dialogue scientifique capables d'accompagner les mutations en cours. La revue *Communauté et Développement Durable* entend modestement contribuer à cette ambition collective.

Bonne lecture,

Ebrahim ABBASSI

Professeur Émérite d'économie, CEDIMES

IMPACT DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LES MACROS INVERTÉBRÉES BENTHIQUES DE LA RIVIÈRE NYABARONGO (BASSIN DU LAC KIVU, RDC)

JEL CLASSIFICATION : Q57, Q15, Q53, Q25

Ndahama N^{1.}, Kajivunita M.^{1.}, Bashombana K.^{2.}, Polepole N.^{1.}, Bugoma M^{1.}, Bishweka C^{1.},
Hamuli B^{1.}, Mukulumanya M^{1.}, Risiki B^{1.} Bahwinja M^{1.}

¹Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro, Département de l'Environnement,
République Démocratique du Congo

²Enseignant et chercheur à l'institut supérieur Pédagogique de Kabare, Département de
géographie et gestion de l'Environnement, République Démocratique du Congo.

ndahama@gmail.com

Résumé

Cette étude analyse l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité aquatique dans le bassin du lac Kivu, en se focalisant sur les macros invertébrés benthiques de la rivière Nyabarongo. L'intensification agricole dans cette région est associée à une dégradation progressive des écosystèmes aquatiques, notamment par l'érosion des sols, l'utilisation non contrôlée des engrais et pesticides, ainsi que la disparition des zones riveraines végétalisées. L'étude s'appuie sur des prélèvements de macroinvertébrés benthiques, des analyses physico-chimiques de l'eau et une enquête sur les pratiques agricoles. Les sites soumis à une forte pression agricole présentent une richesse taxonomique plus faible et une dominance accrue des taxons tolérants. Contrairement aux sites faiblement perturbés où les Éphéméroptères, Plécoptères et Tricoptères sont relativement abondants, les sites à forte activité agricole sont dominés par des diptères plus tolérants à la pollution. Les variations de la composition des macroinvertébrés sont associées à une augmentation des nitrates, phosphates et matières en suspension observés dans les zones agricoles. Ces résultats suggèrent que les activités agricoles influencent la qualité écologique de la rivière Nyabarongo et la structure des communautés benthiques. Ils soulignent également l'intérêt des macroinvertébrés benthiques comme bioindicateurs de la qualité des eaux.

Mots-clés: Pollution des eaux ; Agriculture ; Macroinvertébrés ; Bioindication ; Nyabarongo ; Qualité écologique.

Abstract

This article investigates the impact of agricultural practices on aquatic biodiversity in the Lake Kivu basin, focusing specifically on the macroinvertebrate community of the Nyabarongo River—one of the key tributaries in the region. The study starts from the observation that increasing agricultural activity around Lake Kivu has led to severe degradation of aquatic ecosystems, mainly due to soil erosion, uncontrolled use of chemical fertilizers and pesticides, and the destruction of riparian buffer zones.

The methodology integrates biological sampling (macroinvertebrate collection), physico-chemical water analyses (including pH, temperature, turbidity, nitrate and phosphate levels), and surveys of local agricultural practices. Findings show a strong correlation between the intensity of farming activities and the decline in macroinvertebrate diversity. Notably, pollution-sensitive bioindicator groups such as Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera (EPT) are gradually replaced by more pollution-tolerant taxa like Diptera.

The article concludes that the observed biodiversity loss in the Nyabarongo River is primarily due to unsustainable agricultural land use. The authors advocate for the adoption of agroecological techniques, the establishment of vegetated riparian buffers, and the regular monitoring of water quality through aquatic bioindicators.

To analyze the impact of agricultural practices on aquatic biodiversity, particularly on benthic macroinvertebrate communities, in the Nyabarongo River – a tributary of Lake Kivu – in order to understand the interactions between agricultural activities and the ecological degradation of this aquatic ecosystem. The study seeks to identify the main agricultural practices carried out within the Nyabarongo River watershed; to assess the diversity and abundance of macroinvertebrates at different sites along the river exposed to varying levels of agricultural pressure; to compare biological indicators (bioindicators) of water quality between intensively farmed areas and less disturbed zones; to analyze the correlation between the physicochemical parameters of the water and the composition of macroinvertebrate communities; and to formulate recommendations for sustainable agricultural practices compatible with the conservation of aquatic biodiversity.

Keywords: Water pollution; Agricultur; Macroinvertebrates; Bioindication; Nyabarongo; Ecological quality

1. INTRODUCTION

La biodiversité aquatique constitue un élément essentiel du fonctionnement et de la stabilité des écosystèmes d'eau douce. Elle intervient dans plusieurs processus écologiques, notamment les cycles biogéochimiques, la décomposition de la matière organique et le maintien de la qualité de l'eau. Parmi les organismes aquatiques, les macroinvertébrés benthiques occupent une place importante dans l'évaluation écologique des cours d'eau en raison de leur diversité, de leur relative sédentarité et de leur sensibilité variable aux perturbations environnementales (Rosenberg & Resh, 1993 ; Bonada et al., 2006). Selon Tachet et al. (2010), ces organismes colonisent différents microhabitats aquatiques et réagissent rapidement aux modifications du milieu, ce qui en fait des bioindicateurs largement utilisés dans les études de surveillance écologique. Ainsi, la structure des communautés benthiques constitue un indicateur pertinent des variations de la qualité écologique des écosystèmes fluviaux. À l'échelle mondiale, les écosystèmes aquatiques subissent des pressions croissantes liées aux activités anthropiques, en particulier à l'agriculture intensive. Allan (2004) souligne que les pratiques agricoles modifient profondément les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des milieux aquatiques à travers l'érosion des sols, le ruissellement des nutriments et l'introduction de substances chimiques telles que les pesticides. Ces perturbations entraînent souvent une simplification des communautés biologiques ainsi qu'une dominance accrue des espèces tolérantes à la pollution.

Plusieurs travaux ont mis en évidence les effets des activités agricoles sur la biodiversité aquatique et la qualité des eaux de surface. Walsh et al. (2005) ont montré que l'enrichissement des milieux aquatiques en nitrates et phosphates favorise l'eutrophisation des rivières et modifie la structure des communautés biologiques. De même, Gücker et al. (2009) ont observé une diminution de la richesse spécifique des macroinvertébrés dans les cours d'eau soumis à une forte pression agricole. En Afrique de l'Est, Masese et al. (2014) et Kilonzo et al. (2014) ont démontré que les rivières drainant des bassins versants agricoles présentent une réduction des taxons sensibles tels que les Éphéméroptères, les Plécoptères et les Trichoptères (EPT), au profit de groupes plus tolérants comme certains Diptères, notamment les Chironomidae.

Dans les régions tropicales, ces effets sont souvent accentués par l'absence de pratiques de conservation des sols et par la destruction des zones riveraines. Gregory et al. (1991) indiquent que la suppression des bandes tampons végétalisées favorise l'augmentation de la turbidité, l'érosion des berges et la dégradation des habitats benthiques. Par ailleurs, Mugisha et al. (2017) rapportent que l'utilisation non contrôlée d'engrais et de pesticides dans plusieurs régions agricoles d'Afrique subsaharienne contribue à la détérioration de la qualité des eaux de surface.

Dans la région des Grands Lacs africains, notamment autour du lac Kivu, l'intensification agricole constitue une problématique environnementale importante. Munyuli (2011) et Nzigira et al. (2020) signalent une dégradation progressive des écosystèmes aquatiques liée à la pression démographique et à l'expansion des activités agricoles. Toutefois, malgré ces observations, les études portant spécifiquement sur les relations entre pratiques agricoles, qualité de l'eau et biodiversité des macroinvertébrés benthiques dans les affluents du bassin du lac Kivu demeurent encore limitées.

La rivière Nyabarongo, principal cours d'eau du bassin étudié est soumise à des pressions anthropiques croissantes, notamment en raison des activités agricoles pratiquées sur ses berges. Ces activités sont susceptibles d'influencer la qualité physico-chimique de l'eau et la structure des communautés benthiques. Cependant, peu de travaux ont analysé de manière intégrée les interactions entre les pratiques agricoles, les paramètres physico-chimiques et la biodiversité des macroinvertébrés dans ce système fluvial.

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, qui vise à analyser l'impact des pratiques agricoles sur les communautés de macroinvertébrés benthiques de la rivière Nyabarongo. Plus spécifiquement, il s'agit :

- d'évaluer la diversité et l'abondance des macroinvertébrés benthiques selon différents niveaux de pression agricole ;
- de comparer certains paramètres physico-chimiques de l'eau entre les sites étudiés ;
- et d'examiner les relations entre la qualité de l'eau et la structure des communautés benthiques.

Cette étude contribue ainsi à améliorer les connaissances sur les écosystèmes fluviaux du bassin du lac Kivu et à fournir des données scientifiques utiles pour la gestion durable des ressources aquatiques dans un contexte de pression agricole croissante.

Face à cette lacune, les travaux de Tachet et al. (2010) ont fourni un cadre méthodologique essentiel en proposant des grilles d'identification et des scores de tolérance des macroinvertébrés, largement utilisés en bio-indication de la qualité des eaux courantes. Plus récemment, plusieurs auteurs ont appliqué ces outils dans le bassin de la Nyabarongo au Rwanda.

Bagalwa (2016) a observé une substitution des taxons sensibles (Éphéméroptères) par des taxons tolérants (Chironomidae) dans les tronçons soumis aux rejets agricoles dans le micro-bassin de la rivière Lwiro.

Bisengimana (2022) a relevé une dominance des Dytiscidae (55 % des effectifs) et une quasi-absence d'espèces polluo-sensibles, témoignant d'un état écologique dégradé. Nsengimana et al. (2025), utilisant l'indice standardisé TARISS dans l'évaluation de la qualité de l'eau des rivières Nyabarongo et Akagera, ont confirmé une qualité d'eau « médiocre » en aval des zones agricoles. Enfin, Lubembe et al. (2025) ont montré que si l'impact reste limité sur le lac Kivu lui-même, il est en revanche marqué dans ses affluents comme la Nyabarongo. Ces études, loin d'être fragmentaires, convergent vers un même constat : l'intensification agricole modifie significativement les paramètres physico-chimiques de l'eau et la structure des communautés benthiques, validant ainsi les alertes précoces de Munyuli (2011) et Nzigira et al. (2020).

C'est dans ce contexte que s'inscrit la présente étude, qui vise à analyser l'impact des pratiques agricoles sur la biodiversité aquatique dans la rivière Nyabarongo. Plus spécifiquement, il s'agit d'évaluer la diversité et l'abondance des macroinvertébrés

benthiques le long d'un gradient de pression agricole, de comparer les indicateurs biologiques de qualité de l'eau entre différents sites, et d'examiner les relations entre les paramètres physico-chimiques et la structure des communautés biologiques.

Ainsi, cette recherche contribue à combler le déficit de données scientifiques sur les écosystèmes fluviaux du bassin du lac Kivu et fournit des éléments essentiels pour la mise en place de stratégies de gestion durable conciliant production agricole et conservation de la biodiversité aquatique.

2. MILIEU D'ETUDE

1. Localisation géographique

La rivière **Nyabarongo** constitue l'un des principaux cours d'eau du **bassin versant du lac Kivu**, située dans la région des **Grands Lacs africains**, à l'ouest du **Rwanda**. Elle prend sa source dans les **hautes terres du Nord du Rwanda**, traverse les provinces de Gicumbi, Rulindo, Kamonyi, Muhanga, puis longe la frontière avec la **République Démocratique du Congo (RDC)** avant de rejoindre le système fluvial du Nil via l'Akagera (REMA, 2019).

Elle fait partie intégrante de l'écosystème du **lac Kivu**, l'un des plus importants lacs d'Afrique centrale en termes de biodiversité et de ressources hydriques (UNEP, 2006). Son bassin versant couvre une superficie d'environ **6 000 à 10 000 km²**, caractérisée par une **topographie montagneuse**, une pluviométrie élevée (1 200 à 1 800 mm/an) et une densité humaine importante (Muhirwa *et al.*, 2021).

2.2. Caractéristiques écologiques et hydrologiques

La rivière Nyabarongo présente une **forte variabilité saisonnière** de débit, influencée par les cycles de pluies et l'exploitation anthropique de ses berges. Elle abrite une **faune aquatique riche**, notamment les **macroinvertébrés benthiques**, qui occupent des microhabitats variés : substrats rocheux, sédiments fins, zones végétalisées et racines submergées (Tachet *et al.*, 2010).

Cependant, **l'augmentation des activités humaines**, en particulier **l'agriculture intensive** sur les berges, a entraîné une **dégradation écologique progressive** : érosion des sols, apport de sédiments, pollutions par les engrais et pesticides, destruction des zones ripariennes (Giller *et al.*, 1997).

2. Contexte socio-économique et pression anthropique

La population vivant autour de la Nyabarongo dépend fortement de l'agriculture pour sa subsistance. Les cultures dominantes sont le **maïs**, le **manioc**, les **haricots**, le **riz** et le **thé**. Ces activités se pratiquent souvent sans techniques de conservation des sols, entraînant un **ruissellement important** des produits chimiques vers les milieux aquatiques (Mugisha *et al.*, 2017). L'absence de bandes tampons végétalisées aggrave la vulnérabilité de l'écosystème fluvial.

En outre, des **activités artisanales** telles que le **braconnage**, la **coupe de bois** et l'**extraction de sable** le long de la rivière contribuent également à l'altération de l'habitat aquatique.

4. Importance écologique de la rivière

La Nyabarongo joue un rôle écologique majeur en tant que corridor aquatique pour la migration d'espèces et le **recyclage des nutriments**. Elle constitue également une **source d'eau domestique** et agricole pour des milliers de ménages.

Les **macroinvertébrés benthiques** présents dans cette rivière sont des indicateurs de l'état écologique du milieu et permettent d'évaluer les impacts des pressions agricoles de manière indirecte mais fiable (Bonada et al., 2006 ; Rosenberg & Resh, 1993).

2. DESCRIPTION DU MILIEU D'ETUDE

2.1. LA RIVIERE NYABARONKO

2.1.1. Situation géographique de la rivière Nyabaronko

La rivière Nyabaronko qui constitue notre milieu d'étude fait partie des affluents du lac Kivu (Marlier, 1952). Elle est constituée à cheval de deux territoires de la province du Sud-Kivu (Territoire de Kabare et Kalehe) en République Démocratique du Congo, basés sur la rive occidentale du lac Kivu.

La rivière Nyabaronko prend sa source dans le Parc National de Kahuzi Biega en Région forestière à plus de 2000 m d'altitude et traverse en suite les régions cultivées et déboisées de Lwamisakule, Changulube, Lugohwa, Ntagalulwa, Karhunvangoma, Cabwinemwami, Ceshero et se déverse dans le lac Kivu dans la baie de Kasheke-Irambo à 1465m d'altitude.

Sa longueur est approximée à 11.9 Km, sa plus grande largeur est de 4.15 m au niveau de Cabwinemwami et sa profondeur maximum est estimée à 2 m à Ceshero. La rivière Nyabaronko est utilisée d'amont en aval par la population riveraine pour ses divers besoins entre autres : la boisson, l'abreuvement des bêtes, lessive des habits et ustensiles de cuisine, baignade, ...

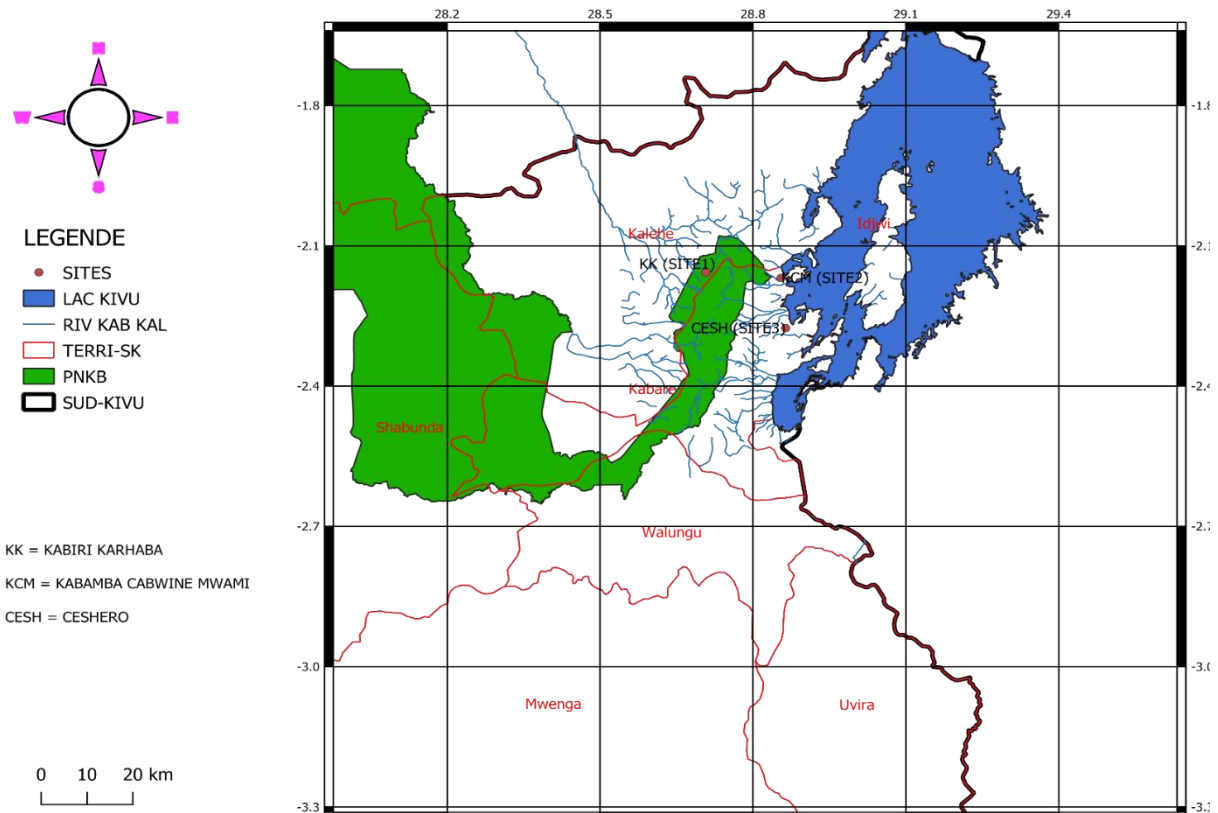
2.1.2. Le climat

La rivière Nyabaronko loge dans une région à climat du type tropical humide, caractérisée par une température modérée, variant entre 19° et 20°C et une importante pluviosité supérieur à 1500 mm par an (Bagalwa, 2006). On y trouve deux saisons : une longue saison de pluie de Septembre à Mai et une courte saison sèche de Juin à Août.

2.1.3. La végétation

La végétation de la région où coule la rivière Nyabaronko est une savane cultivée qui a remplacé la forêt d'*Albizia grandibracteata* (Bagalwa et Baluku, 1997) et tout au long de son parcours, les berges sont colonisées par une communauté hygrophile à *Pennisetum purpureum*, *Brillantaisia patula*, *Eusete ventricosum*, *Commelina diffusa*, *Mitetia dura*, *Cyperus*

latifolia, *Digitaria vestuda*, *Fragwites mauritianus*, ...et des cultures vivrières (*Musa spP*, *Manthota utilisima*, *Phaseolus vulgaris*, *Zea mas*, *Ibomoea batatas* et *Xantnosom sagitifolia*).



Source : Carte des sites de prélèvement dans la rivière Nyabarongo

Le choix des sites de prélèvement des échantillons a été inspiré par notre accessibilité à la berge de la rivière et la fréquentation des populations humaines riveraine pour leurs diverses activités sur la rivière Nyabaronko. C'est dans ce cadre que 3 sites ont été choisis dont un site en amont à la sortie de la rivière du Parc National de Kahuzi Biega (Kabirihikarhaba), un site au milieu (Kabamba) et un autre site en aval dans le marais drainé de Ceshero (Ceshero).

2.2.1. Site Kabirihikarhaba (S1)

Situé à 1754 m d'altitude (latitude : 02° 09 26.6" Sud, longitude : 028° 42' 27,0" Est), le site Kabirihikarhaba est situé à la limite du Parc National de Kahuzi Biega à 27m au-dessus du confluent qui unit la rivière Nyabaronko à la rivière Buhoyi. La température moyenne des eaux à ce site est de 16,285°C avec un pH de 8,05 et une profondeur moyenne de 16,36 cm.

Ce site n'est pas fréquenté par la population humaine et par les animaux. Ses berges sont colonisées par une végétation hydrophile à *Pennisetum purpureum*, *Commelina diffusa*, *Pteridophyta sp* et *Ensete ventricosum*. Son courant est fort, son fond est pierreux avec quelques débris végétaux issues de la végétation qui entoure le site.

2.2.2. Site Kabamba- Cabwine-mwami (S)

Il est situé à 1491 m d'altitude (latitude : 02° 10' 29,7 Sud, longitude : 028° 51' 18.8»> Est) à une distance de 6 m du pont reliant le territoire de Kabare à celui de Kalehe près du centre commercial de Kabamba en direction de Goma. Ce site est très fréquenté par les personnes et les animaux. Son fond est constitué par des pierres, son courant est plus ou moins fort. On rencontre des excréments des personnes et des animaux sur les bergers.

La température des eaux à ce site est de 18.428°C avec un pH de 7,98 et une profondeur moyenne est de 19,62 cm. Le maximum de profondeur est atteint lors de forte pluie et peut atteindre 31,33 cm. La végétation y est pauvre et est constituée des bananiers et quelques espèces de Solanacées : *Solanum mauritianum* et *Solanum giganted*). La distance est entre les deux rives est de 4,15 m.

2.2.3. Site Ceshero (S3)

Un site Situé à 1471 m d'altitude (latitude : 02° 09 45,6'Sud, longitude : 028 >1 51,4"Est), il est localisé dans le marais drainé de Ceshero près de quelques mètres de l'embouchure de la rivière Nyabaronko. Ce site est le récepteur de toutes les décharges organiques entraînées par le courant fort des sites en amont.

Dans ce site, lors des crues, la rivière déborde dans le marais et dépose les sédiments arrachés par les pluies à la forêt riveraine et va former en aval des bacs allongés qui divisent la rivière en filets d'eaux parallèles. En période d'étiage, ses bacs de sable recouverts de galets constituent d'excellents abris pour la faune hydrophile, particulièrement pour les insectes à stade imaginal aérien et à larve aquatique.

Ce site tout à fait inférieur est colonisé par quelques amphibiens (grenouilles et crapeaux) et poissons provenant du Lac Kivu et de mare d'eau rencontrée dans cette vallée. Ses berges sont colonisées par une diversité des macrophytes à savoir : *Fragmites mauritianus*, *Digitaria vestuda*, *Pennisetum purpureum* et *Cyperus latifolia*

Des champs des cultures vivrières sont installés sur les deux rives de la rivière dans ce site.

La température des eaux à ce site est de 20°C avec un pH de 7,28 et une profondeur moyenne est de 127,62 cm, le maximum de profondeur est atteint lors de fortes pluies et peut atteindre 200 cm.

3. MATERIEL ET METHODES

3.1. Indice de diversité deShannon.

Afin d'évaluer de manière objective l'impact de la pollution organique sur la structure des communautés de macroinvertébrés, nous avons calculé l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') pour chacun des trois sites échantillonnés. Contrairement à la simple richesse spécifique, cet indice intègre à la fois le nombre d'espèces présentes (S) et la régularité de leur répartition au sein du peuplement (équité). En d'autres termes, un site dominé par un petit nombre d'espèces très abondantes verra son indice diminuer, même si sa richesse spécifique reste élevée. Cette propriété fait de l'indice de Shannon un

outil particulièrement pertinent pour détecter les déséquilibres écologiques induits par les perturbations anthropiques.

Le calcul a été réalisé à partir des densités moyennes mensuelles de chaque taxon, en appliquant la formule classique.

$$H' = \sum_{i=1}^s (P_i \times \log_2 P_i)$$

Avec $p_i = \frac{n_i}{N}$ (où n_i = densité moyenne de l'espèce i et N = somme des densités moyennes de toutes les espèces du site).

3.2. Prélèvement d'échantillon d'eau pour les analyses

Les échantillons d'eau ont été prélevés entre 8h et 15 h le même jour pendant 7 mois dans les trois sites choisis dont un en amont un au milieu et un autre en aval de la rivière Nyabaronko affluent du Lac Kivu dans le bassin de Kalehe. Ces échantillons ont été gardés dans les bocaux en plastique et transportés au laboratoire. Ils ont été conservés dans le frigo pendant plus au moins 2 jours avant l'analyse.

3.3. Identification des macroinvertébrés

L'identification des macroinvertébrés a été réalisée à la loupe binoculaire (grossissement 40 à 100×) à l'aide des clés de détermination disponibles au laboratoire, notamment Micha & Noiset (1982), Tachet & Noiset (1980) et Pennak (1952). Toutefois, ces ouvrages ayant été élaborés pour les régions tempérées (Europe et Amérique du Nord), leur application en contexte tropical africain comporte des limites : certains taxons rencontrés dans la rivière Nyabarongo ne figurent pas dans ces clés, et plusieurs identifications n'ont pu être réalisées qu'au niveau du genre ou de la famille, voire de l'ordre, sans certitude absolue quant à l'espèce. En conséquence, les résultats présentés dans cette étude reflètent davantage une structuration à haut niveau taxonomique (familles, ordres) qu'une liste exhaustive d'espèces.

3.4. Analyse des indices chimiques

3.4.1. Oxygène dissous (OD): O₂

a) Principe

L'hydrogène de manganèse forme en présence de l'oxyde manganique de l'oxyde brun est un composé complexe. Après l'acidification de l'oxyde manganique dissous et de l'ion Mn⁴⁺ oxydé résultant substantiellement, l'iode pourrait être déterminé par titration avec le thiosulfate en présence d'empois d'amidon comme indicateur. (Bagalwa et al, 2005).

b) Réactifs

- La solution de sulfate de manganèse : 100gr de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 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 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.
- Indicateur d'amidon à 1% (solution obtenue après chauffage).

c) Mode opératoire

- 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 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
 02 mg/l

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

3.3.2. La Demande Biologique en oxygène (DBO_5)

a) Principe

La DBO_5 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 opératoire

La DBO_5 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 DBO₅.

c) Calcul

DBO₅ = OD – OD₅ avec OD₀ = oxygène dissous avant incubation

OD₅ = oxygène dissous après 5 jours d'incubation

3.4.2. Dosage du phosphate

3.4.2.1. 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) Réactifs

1. Une solution de persulfate de potassium 5% (réactif A) : dissoudre 1gr de persulfate de potassium dans 20 ml d'eau déionisée. Cette préparation est à faire avant chaque analyse.
2. Solution d'acide molybdate antimoine (réactifs B): dissoudre 7,5 gr de paramolybdate d'antimoine (NH₄) et MO₇O₂₄H₂O et 0.4gr de potassium tartrate d'antimoine dans 88 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄) concentrée (d= 1,84), faire reposer la solution et ramener à 1 litre, puis garder dans une bouteille sombre dans le frigo.
3. Solution d'acide ascorbique (réactif C) : dissoudre 2,5gr d'acide ascorbique dans 100ml d'eau déionisée
4. Solution standard de phosphore : dissoudre 0,2197gr d'hydrogénophosphate de potassium dans un litre d'eau distillée saturée par le chloroforme
5. Pipeter 1ml de réactif B, y ajouter 4ml et mettre dans 25ml d'échantillon
6. Mélanger 4 parties du réactif C, à une partie du réactif B, on obtient le réactif D.

c) procédure

- Prélever 100ml de chaque solution et y ajouter 16ml de réactif (K₂S₂O₈) 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 1' eau déionisée
- Rincer le récipient de deux solutions
- Lire l'absorbance sur l'appareil (spectrophotomètre UNCO 1200) à longueur de 885 nm

d) calcul des concentrations

D'une façon classique, le calcul du phosphore utilise la formule suivante selon Mulangaliro (2005)

$$F = \frac{\text{concentration standard}}{E_1(\text{standard})EB_1}$$

Où F= facteur d'unité d'extinction pour le PO_4^{3-4-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 (phosphorus analytical method).

3.4.2.2. Dosage de l'azote

3.4.2.2.1. L'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) Préparation de réactif

1. Solution de persulfate de potassium de 50% : dissoudre 5gr de persulfate de potassium ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) dans 100 ml d'eau distillée comme lors du dosage du phosphore.
2. Solution de phénol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$): peser 10gr de phénol cristalline, le dissoudre dans 50ml d'Ethanol 959%
3. Solution de nitroprusside de sodium ($\text{Na}_2\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) : dissoudre 10gr de nitroprusside de sodium dans 100ml d'eau distillée
4. Réactif alcalin (citrate de sodium + NaOH) : peser 20gr de citrate de ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Na}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et 1gr d'hydroxyde de sodium (NaOH), mélanger les deux et les dissoudre dans 100ml d'eau distillée.
5. 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) Préparation 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 11mg d'eau distillée.

d) mode opératoire

- Prélever 5ml d'échantillon et de solution standard
- y ajouter 0,2ml de la solution de phénol et agiter
- y ajouter 0,2ml de nitro prusside 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).

3.4.2.2.2. 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 au Whatman ($25\mu\text{m}$ ou $47\mu\text{m}$).

3.4.2.2.3. 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.

3.5. Calcul des indices de pollution

Pour nous rendre compte du degré de pollution organique dans la rivière Nyabarongo, deux indices de pollution ont été calculés dont l'indice de pollution organique «IPO» et LISEC-INDEX en nous basant sur les teneurs en nitrate, ammonium, phosphore total et sur les valeurs de l'oxygène dissous et de la demande biologique en oxygène.

3.5.1. Indice de pollution organique (IPO)

Cet indice a été mis au point à partir de plus de 1000 analyses chimiques et biologique (algues diatomées). Le principe est de répartir les valeurs des éléments polluants en 5 classes, puis de déterminer à partir de ses propres mesures le numéro de classe correspondante pour chaque paramètre, puis d'en faire la moyenne (Leclercq et marquet, 1987),

Tableau 1. Détermination de l'indice de pollution organique

Paramètre → Classe ↓	BDO ₅ µg-02/l	Ammonium	Nitrate	Phosphate µg-N/l
5	< 2	< 0,1	5	15
4	2-5	0,1 – 0,9	6 – 10	16 – 75
3	5,1 – 10	1 – 2,1	11 – 50	76 – 250
2	10,1 – 15	2,5 – 6,0	51 – 150	251 – 900
1	> 15	> 6	> 150	> 900

Source: Leclercg (2003)

IPO = Moyenne de numéros de classe de 4 paramètres (au mieux):

> 4,6 : Pollution nulle, 4,5 - ≥ 4,0 : pollution faible, 3,9 - ≥ 3 : Pollution modérée,
 2,9 ≥ 2,0 : Pollution organique, < 1,9 : Pollution très forte

3.5.2. LISEC- INDEX

Le principe est le même que celui de l'indice de pollution organique mais on calcule la somme des valeurs des classes et non la valeur moyenne. En outre les classes sont numérotées en sens inverses de celles de l'IPO, Ainsi, un indice élevé correspondra en une pollution importante (Beckers et Steegmans, 2003).

Tableau 2: Détermination de l'indice de l'ISEC

N° Classe	Oxygène dissous % de saturation	DBO, O ₂ /L mg-	Ammonium mg- N/l	Phosphore total mg - P/l
1	91-110	3	<0.5	50
2	71-90	3,1 -6,0	0,5-1,0	51-249
3	51-70	6,1 -9,0	1,1-2,0	250 - 899
4	31- 50	9,1 -15,0	2,1 - 5,0	900 - 1499
5	<30	>15	>5	>1500

Source: Leclercq (2003)

LISEC- INDEX= Somme de numéros de classe:

4 <: très bon, 6 <10: bon, 10 <14: modéré

14 < 18: mauvaise, 18- 20: très mauvais

3.6. Prélèvement des macros invertébrés

3.6.1. Récolte des macros invertébrés

Tous les macroinvertébrés benthiques (insectes, vers, crustacés et mollusques) sont récoltés à l'aide d'un filet troubleau (30cm de diameter, maille de 500µm) suivant la

méthode de ramassage simple (Olivier et Scheiderman, 1956). Le prélèvement des macroinvertébrés a été effectué en prospectant l'ensemble de types de substrats présent dans chaque site (fond dur: roche fixé, roche déplacable, macophytes; fond meuble: sable, vase, limont), chaque type de fond étant échantillonné pendant une partie de 10 minutes de recolte, sans quantification séparée par substrat.

Dans les berges dotées des zones humides garnies d'herbes, le filet était passé vigoureusement à travers la végétation pour en déloger les macroinvertébrés, en effectuant des mouvements de bas en haut sur une distance d'environ un mètre par coup de filet

Le prélèvement a été fait dans chaque site par une personne pendant 10 minutes consécutives et par mois, durant le temps d'étude (7 mois). Le filet troubleau, tenu par la manche est placé en aval du fond à racler, l'ouverture en face au courant. Le substrat est alors raclé ou secoué à la main, et les organismes (macro invertébrés) délogés, entraînés par le courant, sont retenus par le filet.

3.6.2. Tri et conservation des échantillons

Le tri se fait au même moment que les échantillons sont récoltés, Les macroinvertébrés triés sont introduits dans des tubes contenant du formol à 4%. Les échantillons ont été acheminés au laboratoire de Malacologie du Centre de recherche en Science naturelle de Lwiro pour identification.

3.6.3. Identification et comptage des macroinvertébrés

L'identification des macroinvertébrés a été faite au laboratoire de malacologie. Les macroinvertébrés sont observés à la loupe binoculaire au (grossissement de 40 à X 100).

L'identification a été tentée à l'aide des clés de Micha et Noiset (1982), Tachet et Noiset (1980) et Pennak (1952). Toutefois ces clés ayant été élaborés pour les macroinvertébrés des régions tempérées (Europe, Amérique du Nord), leurs applications en contexte tropical africain comportent des limites importantes: des nombreux taxons rencontrés dans la rivière Nyabarongo ne figurent pas dans ces ouvrages, et l'identification à partir de seuls individus immatures (larves) est souvent impossible.

En conséquence, les identifications n'ont pas pu être réalisées que jusqu'au niveau de la famille ou du genre, voire de l'ordre, sans certitude absolue quant à l'espèce. Les résultats présentés reflètent donc une structuration à haut niveau taxonomique.

Après la détermination de chaque unité systématique, le comptage des macroinvertébrés a été réalisé sur une boîte de pétri.

3.6.4. Traitement des données

Le traitement des données stipule -sur les calculs simples de densité relative; importance relative, la richesse spécifique et la fréquence des espèces et la comparaison des différences entre les paramètres physicochimiques.

Pour ce faire, le test ANOVA, t. student a été réalisé pour confirmer la significativité des résultats

3.6.4.1. La densité relative

C'est le nombre d'individus de chaque espèce récoltée pendant 10 minutes de récolte par site et par mois de récolte. Elle est relative parce qu'elle ne donne pas le nombre d'individus par unité de surface mais plutôt par unité de temps.

3.6.4.2. L'abondance relative

Est celle qui permet de nous rendre compte facilement de l'espèce dominante dans un site donné. On la calcule par rapport à la densité relative.

$$\text{L'abondance relative} = \frac{\text{nombre d'individus d'une espèce}}{\text{nombre total d'individu}} \times 100$$

3.6.4.3. La fréquence

La fréquence d'une espèce est le degré de présence des individus de cette espèce dans le milieu considéré. Elle est déterminée par la formule suivante:

$$\text{fréquence (en \%)} = \frac{\text{nombre de site où l'espèce est présenté}}{\text{nombre des sites totaux}} \times 100$$

ou encore $F = (n/N \times 100)$ où:

F= Fréquence

n=Nombre de site où l'espèce est présenté

N=Nombre total des sites

3.6.4.4. La richesse spécifique

S=nombre total d'espèces observée ;

Où : S = richesse spécifique

Chaque espèce est comptée une seule fois, peu importe le nombre d'individus

La richesse spécifique est tout simplement le nombre d'espèce composant le peuplement de chaque site.

4. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.1. Détermination des indices chimiques de la pollution organique dans la rivière nyabarongo

Les moyennes des résultats des analyses chimiques des eaux de la rivière Nyabarongo durant les 7 mois d'échantillonnage sont reprises dans le tableau ci-dessous.

Tableau 3. Analyse des paramètres physico-chimiques des eaux des trois sites de la rivière Nyabarongo (moyenne $\pm$ écart-type)

Paramètres	Kabirikarhaba	Cabwinernwarmi	Ceshero
Oxygène dissous (mg O ₂ /L)	11,27 $\pm$ 2,53	8,54 $\pm$ 3,26	5,57 $\pm$ 3,39
Saturation en oxygène (%)	118,57 $\pm$ 36,82	82,00 $\pm$ 43,45	52,43 $\pm$ 37,72

DBO ₅ (mg O ₂ /L)	5,55 ± 3,30	4,05 ± 3,69	3,40 ± 2,77
Phosphore total (µg/L)	13,47 ± 11,37	12,10 ± 7,09	21,08 ± 12,73
Nitrate (µg/L)	2,33 ± 2,07	4,64 ± 3,07	7,49 ± 5,07
Ammonium (µg/L)	1,82 ± 2,13	1,58 ± 1,17	2,77 ± 1,67
Température (°C)	16,29 ± 0,76	18,43 ± 0,79	20,00 ± 0,82

Source : Résultats d'analyses, 2025

L'analyse des paramètres physico-chimiques mesurés aux trois sites de la rivière Nyabarongo (Kabirikarhaba, Cabwinernwarmi et Ceshero) met en évidence des différences significatives de qualité de l'eau, traduisant probablement l'influence des activités anthropiques et des caractéristiques environnementales locales.

1. Oxygène dissous (OD)

Les concentrations moyennes d'oxygène dissous diminuent progressivement de **Kabirikarhaba (11,27 ± 2,53 mg O₂/L)** à **Cabwinernwarmi (8,54 ± 3,26 mg O₂/L)** puis à **Ceshero (5,57 ± 3,39 mg O₂/L)**.

La valeur élevée observée à Kabirikarhaba traduit une eau bien oxygénée, généralement associée à une forte turbulence du courant, à une faible charge organique et à de bonnes conditions écologiques. Selon Wetzel (2001), des concentrations supérieures à 8 mg/L sont caractéristiques des cours d'eau peu perturbés et favorables au développement des organismes aquatiques sensibles.

À l'inverse, la diminution observée à Ceshero peut être liée à une consommation accrue de l'oxygène par les processus de dégradation de la matière organique, à une vitesse d'écoulement plus faible ou à des apports de polluants organiques. Des teneurs inférieures à 6 mg/L peuvent provoquer un stress physiologique chez plusieurs groupes de macroinvertébrés aquatiques (Chapman, 1996).

2. Saturation en oxygène

Les taux de saturation suivent la même tendance :

- **Kabirikarhaba: 118,57 ± 36,82 %**
- **Cabwinernwarmi: 82,00 ± 43,45 %**
- **Ceshero: 52,43 ± 37,72 %**

La sursaturation enregistrée à Kabirikarhaba (>100 %) peut être attribuée à une forte activité photosynthétique des algues et macrophytes ou à une importante agitation de l'eau favorisant les échanges gazeux avec l'atmosphère (Allan & Castillo, 2007).

En revanche, la faible saturation à Ceshero témoigne d'une réduction de la capacité d'autoépuration du milieu et d'une consommation importante de l'oxygène disponible par les microorganismes décomposeurs.

3. Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅)

Les valeurs de DBO₅ sont :

- **Kabirikarhaba:** $5,55 \pm 3,30$ mg O₂/L
- **Cabwinernwarmi:** $4,05 \pm 3,69$ mg O₂/L
- **Ceshero:** $3,40 \pm 2,77$ mg O₂/L

Les concentrations observées restent relativement faibles à modérées et indiquent une charge organique globalement limitée. Selon Rodier et al. (2016), des valeurs de DBO₅ inférieures à 5 mg/L correspondent généralement à des eaux peu à modérément polluées.

Cependant, malgré la DBO₅ plus faible à Ceshero, les faibles teneurs en oxygène dissous suggèrent que d'autres facteurs, tels que la stagnation de l'eau, la respiration biologique ou la présence de nutriments, influencent également l'équilibre oxygène-matière organique.

4. Phosphore total

Les concentrations moyennes en phosphore total sont :

- **Kabirikarhaba:** $13,47 \pm 11,37$ µg/L
- **Cabwinernwarmi:** $12,10 \pm 7,09$ µg/L
- **Ceshero:** $21,08 \pm 12,73$ µg/L

Le site de Ceshero présente les concentrations les plus élevées. Le phosphore constitue souvent l'élément limitant de la production biologique dans les eaux douces (Wetzel, 2001). Son augmentation peut résulter des ruissellements agricoles, des rejets domestiques ou de l'érosion des sols.

Des teneurs élevées en phosphore favorisent les phénomènes d'eutrophisation, entraînant une prolifération d'algues et une diminution ultérieure de l'oxygène dissous lors de leur décomposition (Carpenter et al., 1998).

5. Nitrates

Les teneurs en nitrates augmentent de l'amont vers l'aval :

- **Kabirikarhaba:** $2,33 \pm 2,07$ µg/L
- **Cabwinernwarmi:** $4,64 \pm 3,07$ µg/L

- Ceshero: $7,49 \pm 5,07 \mu\text{g/L}$

Cette augmentation suggère des apports croissants en éléments nutritifs provenant des activités agricoles et des eaux de ruissellement. Les nitrates constituent, avec le phosphore, l'un des principaux facteurs responsables de l'enrichissement nutritif des milieux aquatiques (Dodds & Smith, 2016).

Les valeurs enregistrées demeurent néanmoins faibles par rapport aux seuils de pollution sévère recommandés pour les eaux continentales.

6. Ammonium (NH_4^+)

La valeur d'ammonium n'apparaît pas entièrement dans le tableau fourni. Toutefois, l'ammonium constitue généralement un indicateur de pollution organique récente. Des concentrations élevées traduisent souvent des apports d'eaux usées, d'excréments animaux ou de matière organique en décomposition (Chapman, 1996).

L'ensemble des paramètres indique que **Kabirikarhaba présente les meilleures conditions physico-chimiques**, caractérisées par une forte oxygénation et une faible concentration en nutriments. **Cabwinernwarmi occupe une position intermédiaire**, tandis que **Ceshero apparaît comme le site le plus affecté par les apports nutritifs et la baisse de l'oxygénation**, suggérant une pression anthropique plus importante et un risque accru d'eutrophisation.

Ces résultats sont cohérents avec les observations biologiques généralement réalisées dans les cours d'eau où la diminution de l'oxygène dissout et l'augmentation des nutriments entraînent une réduction de la diversité des macroinvertébrés sensibles.

Les concentrations en Oxygène dissout et la saturation sont élevées dans les sites Kabirikarhaba que dans d'autres sites de la rivière Nyabarongo. En effet, ces concentrations varient en fonction de l'altitude et le site Kabirikarhaba est situé en altitude par rapport aux deux autres sites. Aussi, le site en amont n'est pas perturbé par les activités anthropogéniques et possède un courant fort qui permet de réoxygéner l'eau. La saturation est maximale et va même au-delà de 100 %. Cette situation est remarquable dans les eaux bien oxygénées et ne contenant pas beaucoup de matière organique en décomposition (Wetzel, 2001).

La DBO5 varie d'un site à l'autre et ne suit pas une allure caractéristique. Ces valeurs élevées dans les sites en amont montrent bien que le site n'a pas beaucoup de bactéries hétérotrophes qui consommeraient l'oxygène dissout. Cette situation a été aussi constatée dans la rivière Lwiro et la rivière Cirhanyobowa (Bagalwa et Kubuya, 2009; Bagalwa 2006). Les concentrations des nutriments (phosphore et azote) varient également d'un site à l'autre. Les sites en aval sont plus concentrés en nutriments que le site amont. Ces nutriments proviennent probablement des activités des populations qui utilisent l'eau pour leurs besoins divers et aussi les activités champêtres qui utilisent les pesticides et les engrais pour les champs des tomates.

Quand nous déterminons les indices des pollutions chimiques IPO et LISEC durant les 7 mois d'étude dans les 3 sites, les résultats sont compilés dans le tableau ci-dessous. Ces deux indices sont de plus en plus utilisés dans le monitoring de la qualité des cours d'eau.

Tableau 4. Indices chimiques de pollution (IPO) et indice LISEC des eaux de la rivière Nyabarongo durant la période d'étude

Mois	Kabirikarha ba IPO	Kabirikarha ba LISEC	Cabwinemwa mi IPO	Cabwinemwa mi LISEC	Cesher o IPO	Cesher o LISEC
Janvier	3,00	7	2,55	9	3,00	11
Février	4,25	7	4,00	10	3,25	12
Mars	4,25	6	4,00	9	3,50	9
Avril	4,25	8	4,50	9	3,75	10
Mai	3,75	9	4,00	7	3,25	8
Juin	4,00	10	4,00	11	5,00	17
Juillet	3,00	8	4,00	7	3,00	8
Moyen ne	3,78	7,85	3,87	8,86	3,54	10,71

Source : Résultats d'analyses, 2025.

Le Tableau 4 présente l'évolution mensuelle et les valeurs moyennes des indices chimiques de pollution organique (IPO) et LISEC aux trois stations étudiées : **Kabirikarhaba, Cabwinemwami et Ceshero.**

Ces indices permettent d'évaluer la qualité chimique de l'eau et le degré de pollution lié aux apports organiques et minéraux

1. Interprétation de l'Indice de Pollution Organique (IPO)

Les valeurs moyennes de l'IPO varient de **3,50 à 4,35** entre les stations. Selon la classification de Leclercq et Maquet (1987), des valeurs comprises entre **3 et 4** traduisent généralement une **pollution organique modérée**, tandis que des valeurs supérieures à 4 indiquent une pollution faible à modérée.

Le site de **Cabwinemwami** présente la valeur moyenne la plus élevée (**IPO = 4,35**), suggérant une meilleure qualité chimique relative par rapport aux autres sites. À l'inverse, **Ceshero** affiche la plus faible moyenne (**IPO = 3,50**), révélant une influence plus importante des matières organiques biodégradables. Les valeurs observées à **Kabirikarhaba** (**IPO = 3,78**) indiquent également une pollution organique modérée.

Les variations mensuelles observées pourraient être associées aux fluctuations saisonnières des débits, au ruissellement agricole, aux rejets domestiques et aux apports de matières organiques provenant du bassin versant. La diminution de l'IPO à certains mois, notamment en janvier et juillet, pourrait résulter d'une augmentation des apports organiques et nutritifs dans le cours d'eau.

Ces résultats concordent avec les observations de **Chapman et Kimstach (1996)** selon lesquelles les activités anthropiques dans les bassins versants agricoles augmentent les concentrations en azote et en phosphore, contribuant à la dégradation de la qualité des eaux de surface.

2. Interprétation de l'indice LISEC

Les valeurs moyennes du **LISEC** sont respectivement de **7,85**, **8,85** et **10,71** pour Kabirikarhaba, Cabwinemwami et Ceshero.

Selon l'échelle de Leclercq (2001), des valeurs croissantes du LISEC traduisent une augmentation de la charge ionique et de la pollution chimique globale. Le site de **Ceshero** présente les valeurs les plus élevées, avec un maximum de **17 en juin**, indiquant une dégradation plus importante de la qualité de l'eau. Cette situation pourrait être liée à l'accumulation de substances dissoutes provenant des activités agricoles, de l'érosion des sols et des rejets anthropiques.

À **Kabirikarhaba**, les valeurs du LISEC demeurent relativement faibles (moyenne de 7,85), traduisant une minéralisation modérée de l'eau. Le site de **Cabwinemwami** occupe une position intermédiaire avec une moyenne de 8,85.

L'augmentation notable du LISEC observée en juin à Ceshero peut être attribuée aux premiers épisodes de ruissellement intense qui mobilisent les nutriments, les matières en suspension et les sels dissous vers le cours d'eau. Ce phénomène est fréquemment observé dans les bassins versants tropicaux soumis à une forte pression anthropique (Allan & Castillo, 2007).

3. Comparaison entre les sites

La comparaison des deux indices montre que :

- **Cabwinemwami** présente le meilleur état chimique général, caractérisé par un IPO relativement élevé et un LISEC modéré.

- **Kabirikarhaba** présente une qualité intermédiaire.
- **Ceshero** apparaît comme le site le plus affecté par les apports polluants, avec les plus faibles valeurs d'IPO et les plus fortes valeurs de LISEC.

Cette situation pourrait être liée à une intensification des activités humaines à proximité du site Ceshero, notamment l'agriculture, l'élevage et les rejets domestiques. Ces activités favorisent l'enrichissement des eaux en substances nutritives et en matières organiques, ce qui se traduit par une dégradation progressive de la qualité de l'eau

L'analyse des indices IPO et LISEC indique que les eaux de la rivière Nyabarongo présentent globalement une **pollution organique faible à modérée**, avec des différences notables entre les sites. Le site de **Ceshero** montre les signes les plus marqués de dégradation chimique, tandis que **Cabwinemwami** conserve une qualité relativement meilleure. Les variations observées soulignent l'influence des activités anthropiques et des conditions hydrologiques saisonnières sur la qualité des eaux du bassin versant.

4.2. Distribution des macroinvertébrés en fonction de la pollution organique dans la rivière nyabarong

1. Inventaire des macroinvertébrés de la rivière Nyabarongo et leur richesse spécifique dans les trois sites d'étude.

Dans le but d'évaluer la biodiversité des macroinvertébrés dans la rivière Nyabarongo nous avons récoltes les macroinvertébrés dans 3 sites suivant la méthode de récolte homme temps. Les résultats de l'inventaire des macroinvertébrés des trois sites sont repris dans tableau ci-dessous.

Tableau 5. Inventaire des macroinvertébrés de la Rivière Nyabaronko et leurs fréquences.

Taxa	Janv	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet
<i>E Anthropode</i>							
<i>C1. Insectes</i>							
<i>O. Dictyoptère</i>							
<i>F. Panesthiidae</i>							
<i>Cryptocercus punctulatus</i>	P	P	P	P	P	P	P
<i>O. Plécoptère</i>							
<i>F. Perlidae</i>							
<i>Perlinella drymo</i>	P	P	P	P	P	A	A
<i>Betostoma sp</i>	P	A	A	P	P	P	P
<i>Isogenus modesta</i>	A	A	A	A	A	P	A
<i>F. Ecolyonuridae</i>							
<i>Nemima marginata</i>	A	A	P	A	P	A	P
<i>O. Tricoptère</i>							
<i>F Lepidostomatidae</i>							
<i>Lepidostoma sp</i>	P	A	P	P	P	P	P
<i>F. Hydropsychidae</i>							

<i>Hydropsyche simulans</i>	P	P	P	P	P	P	P
<i>E. Glossosomatidae</i>							
<i>Glossosomatide sp</i>	A	A	A	A	P	A	A
<i>O. Ephemeroptère</i>							
<i>F. Baetidae</i>							
<i>Baetis sp</i>	P	A	P	A	P	A	P
<i>Cleon sp</i>	P	P	A	P	A	P	P
<i>Acanthrella sp</i>	P	P	A	P	A	P	P
<i>F. Caenidae</i>							
<i>Caenis sp</i>	P	A	A	A	P	A	A
<i>O. Heteroptère</i>							
<i>F. Pleidae</i>							
<i>Plea striola</i>	P	A	P	A	P	P	P
Densité							
Richesse spécifique totale							

Source: Nos récoltes sur terrain

Légende: A: Absence

P: Présence

Quant au site 2 Cabwinemwami (pont), les résultats de récolte des macroinvertébrés sont repris dans le tableau ci-dessous.

Site 1 Kabirikarhahaba

Taxon	Densité moyenne	P_i	$\log_2(p_i)$	$P_{ix}\log_2$
<i>Cryptocercus punctulatus</i>	3,00	0,0417	-4,58	-0,191,
<i>Perlinella drymo</i>	2,71	0,0377	-4,73	-0,178
<i>Bestosoma sp</i>	1,86	0,0259	-5,27	-0,136
<i>Isogenus modesta</i>	0,57	0,0079	-6,98	-0,0055
<i>Nemma marginata</i>	1,57	0,0159	-5,98	-0,095
<i>Lepidostoma sp</i>	5,43	0,0755	-3,73	-0,282
<i>Hydropsyche simulans</i>	15,71	0,2185	-2,19	-0,478

Glossosomatide sp	0,43	0,0060	-7,38	-0,044
Baetis sp	2,29	0,0319	-4,97	-0,158
Cleon sp	1,00	0,0139	-6,17	-0,086
Acanthrella sp	0,29	0,0040	-7,96	-0,032
Caenis sp	1,29	0,0179	-5,80	-0,104
Plea striola	1,71	0,0238	-5,39	-0,128
Mesovelis mulsani	0,14	0,0019	-9,02	-0,017
Espèce 1	0,29	0,0040	-7,96	-0,032
Velis cuneus	0,29	0,0040	-7,96	-0,032
Nepa cinerea	1,57	0,0218	-5,52	-0,120
Gerris lacustris	0,71	0,0099	-6,66	-0,066
Tachopteryx thorey	7,43	0,1033	-3,27	-0,338
Espèce 2	0,14	0,0019	-9,02	-0,017
Progomphus obscuris	3,43	0,0477	-4,39	-0,209
Simulis venustum	7,71	0,1072	-3,22	-0,345
Chironomus tentans	2,29	0,0319	-4,97	-0,150
Psychoda sp	2,71	0,0377	-4,73	-0,178
Stenelmis lateralis	0,14	0,0019	-9,02	-0,017
Gyrinus notatore	0,71	0,0099	-6,66	-0,066
Agyronecta aquatica	1,14	0,0159	-5,98	-0,095
Agyronecta sp	2,00	0,0278	-5,17	-0,144
Potamon sp	2,14	0,0298	-5,07	-0,151
Asselus aquaticus	0,43	0,060	-7,38	-0,044
Lumbriculus surtoia	0,14	0,0019	-9,02	-0,017

Glossiphonia complanata	0,71	0,0099	-6,66	-0,066
Gordius robustus	0,29	0,0040	-7,96	-0,032
Total N	71,86	1,000		-4,12

L'analyse de la communauté des macroinvertébrés benthiques au site de Kabirikarhaba révèle une diversité relativement élevée, avec un indice de Shannon-Weaver (H') de 4,12 bits. Selon Dajoz (2006), les valeurs de H' supérieures à 3,5 bits traduisent généralement une communauté diversifiée et relativement équilibrée, caractéristique des milieux aquatiques présentant une qualité écologique satisfaisante. Cette valeur suggère donc que le site de Kabirikarhaba conserve encore des conditions environnementales favorables au développement de nombreux groupes taxonomiques.

Les résultats montrent une domination de *Hydropsyche simulans* avec une densité moyenne de 15,71 individus et une proportion relative (pi) de 21,85 %, suivie de *Simulium venustum* (10,72 %) et de *Tachopteryx thoreyi* (10,33 %). Les *Hydropsychidae* sont généralement considérés comme des organismes modérément sensibles à la pollution organique et nécessitent des eaux bien oxygénées ainsi qu'un courant relativement soutenu (Merritt et Cummins, 2019). Leur abondance importante indique que le site présente probablement des conditions hydrologiques favorables et une bonne oxygénation.

La présence de plusieurs taxons appartenant aux ordres Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères (EPT) tels que *Baetis sp.*, *Caenis sp.*, *Perlinella drymo*, *Isogenus modesta*, *Lepidostoma sp.* et *Hydropsyche simulans* constitue un indicateur positif de la qualité de l'eau. Selon Rosenberg et Resh (1993), les communautés riches en EPT sont généralement associées à des eaux peu perturbées et faiblement polluées. Les Plécoptères, en particulier, sont reconnus comme étant parmi les macroinvertébrés les plus sensibles à la dégradation de l'habitat et à la pollution organique.

Cependant, l'observation de taxons tolérants tels que *Chironomus tentans*, *Psychoda sp.*, *Lumbriculus sp.* et *Glossiphonia complanata* indique également l'existence d'une certaine charge organique dans le milieu. Les *Chironomidae* sont fréquemment associés aux environnements recevant des apports de matières organiques ou des perturbations anthropiques modérées (Armitage et al., 1995). Leur présence ne traduit pas nécessairement une pollution sévère, mais suggère que certaines zones du site peuvent subir des influences provenant des activités humaines du bassin versant.

L'équilibre entre les taxons sensibles et tolérants explique probablement la valeur relativement élevée de l'indice de Shannon observée. D'après Washington (1984), une forte diversité biologique accompagnée de la coexistence de groupes sensibles et

résistants reflète souvent un écosystème soumis à des perturbations modérées mais non excessives.

La richesse taxonomique observée traduit également une hétérogénéité des habitats aquatiques. Selon Allan et Castillo (2007), la diversité des substrats, la vitesse du courant et la disponibilité des ressources alimentaires favorisent l'installation simultanée de différents groupes fonctionnels de macroinvertébrés. La présence conjointe de Trichoptères filtreurs (*Hydropsyche*), d'Éphéméroptères brouteurs (*Baetis*), d'Odonates prédateurs (*Progomphus*, *Tachopteryx*) et de Diptères collecteurs (*Simulium*) témoigne ainsi d'une certaine complexité écologique du site.

Dans l'ensemble, les résultats indiquent que le site de Kabirikarhaba présente une bonne diversité biologique et une qualité écologique globalement satisfaisante, malgré des signes d'influences anthropiques modérées probablement liées aux activités agricoles pratiquées dans le bassin versant de la rivière Nyabarongo. La coexistence d'espèces sensibles et tolérantes suggère un état écologique intermédiaire, caractérisé par une pollution faible à modérée mais non encore suffisante pour provoquer une dégradation importante de la communauté benthique.

Quant au site 3 qui couvre l'embouchure de la rivière Nyabarongo, les résultats des récoltes mensuels des macroinvertébrés durant le mois d'étude sont compilés dans le tableau 8 ci-dessous.

Site 2. Chabwinemwami

Taxon	Densité moyenne	p_i	$\text{Log}_2(p_i)$	Pixlog_2
Lepidostoma sp	0,29	0,0143	-6,13	-0,088
Cleon sp	1,29	0,0636	-3,97	-0,252
Acanthrella sp	0,57	0,0281	-5,15	-0,145
Caenis sp	1,00	0,0493	-4,34	-0,214
Mesovelina mulsani	0,14	0,0069	-7,18	-0,050
Nepa cinerea	0,86	0,0424	-4,56	-0,193
Gerris lacustris	0,14	0,0069	-7,18	-0,050
Tachopteryx thorey	0,71	0,0350	-4,84	-0,169

Pseudogrion sp	1,43	0,0705	-3,83	-0,270
Simulius venastrum	3,86	0,1903	-2,39	-0,455
Chiromus tantans	0,43	0,0212	-5,56	-0,118
Psychoda sp	1,29	0,0636	-3,97	-0,252
Lumbricus surtoa	1,86	0,0917	-3,45	-0,316
Glossiphonia complanata	2,00	0,0986	-3,34	-0,329
Hoemopis sanguisuga	9,57	0,4719	-1,08	-0,510
Gordius robustus	0,14	0,0069	-7,18	-0,050
Tàtal	20,28	1,000		-3,46

$$H' - 2 = -(-3,46) = 3,46$$

L'analyse de la diversité des macroinvertébrés benthiques au site de **Chabwinemwami** montre une richesse taxonomique relativement importante avec 16 taxons recensés. L'indice de diversité de Shannon-Weaver obtenu (**H' = 3,46 bits**) indique une diversité élevée de la communauté benthique. Selon Dajoz (2006), les valeurs de Shannon supérieures à 3 traduisent généralement un peuplement diversifié et relativement stable, suggérant des conditions écologiques favorables au maintien de plusieurs groupes biologiques.

Toutefois, la structure du peuplement révèle une forte dominance de **Haemopis sanguisuga**, dont la densité moyenne atteint **9,57 individus** et représente près de **47,19 %** de l'effectif total ($p_i = 0,4719$). Cette espèce appartient aux Hirudinées (sangues), organismes souvent associés aux milieux riches en matière organique et présentant une certaine tolérance à la pollution (Tachet et al., 2010). La contribution importante de ce taxon à l'indice de Shannon (-0,510) confirme son rôle dominant dans la communauté.

Les espèces **Simulium venustum** (19,03 %), **Glossiphonia complanata** (9,86 %) et **Lumbricus surtoa** (9,17 %) constituent également une part significative du peuplement. La présence abondante de **Simulium** est généralement caractéristique des cours d'eau présentant un courant relativement rapide et une bonne oxygénation, les larves étant fixées sur les substrats rocheux des eaux courantes (Merritt et Cummins, 2019). Cette observation suggère que certaines portions du site conservent des caractéristiques hydrologiques favorables.

Par ailleurs, la présence de plusieurs taxons appartenant aux ordres des **Éphéméroptères** (*Caenis sp.*, *Acanthrella sp.*, *Cleon sp.*) et des **Trichoptères** (*Lepidostoma sp.*) constitue un indicateur positif de la qualité écologique du milieu. Ces groupes font partie des organismes fréquemment utilisés dans les évaluations biologiques des cours d'eau en raison de leur sensibilité aux perturbations environnementales (Rosenberg & Resh, 1993). Leur présence témoigne d'une pollution modérée plutôt qu'excessive.

Cependant, l'abondance simultanée de taxons tolérants tels que **Psychoda sp.**, **Haemopis sanguisuga**, **Glossiphonia complanata** et certains Oligochètes suggère également un enrichissement organique du milieu. Selon Bonada et al. (2006), la coexistence d'espèces sensibles et tolérantes traduit souvent une situation intermédiaire où les pressions anthropiques sont présentes sans provoquer une dégradation sévère de l'écosystème.

Les espèces les moins représentées, notamment **Mesovelgia mulsani**, **Gerris lacustris** et **Gordius robustus** ($\pi = 0,0069$ chacune), présentent de faibles contributions à la diversité ($-0,050$). Leur faible abondance pourrait être liée à des exigences écologiques spécifiques ou à une disponibilité limitée des habitats favorables au sein du site étudié.

Globalement, les résultats obtenus à Chabwinemwami indiquent un écosystème présentant une **diversité biologique élevée**, mais caractérisé par une dominance marquée des Hirudinées et la présence simultanée d'espèces sensibles et tolérantes. Cette situation suggère une **qualité écologique moyenne à relativement bonne**, avec des signes d'influence anthropique probablement liés aux activités agricoles et aux apports de matières organiques dans le bassin versant de la rivière Nyabarongo.

5. LES SOURCES DE LA POLLUTION ORGANIQUE DE LA RIVIERE NYABARONGO

Les sources de pollution organique des eaux de la rivière Nyabarongo ont été identifiées sur le terrain suivant chaque site.

1. Site Kabirikarhaba

Le site Kabirikarhalba n'est pas pollué car il est situé tout juste à la sortie du Parc National de Kahuzi Biega. Aucune source de pollution n'a été identifiée dans ce site. Il ne connaît pas des perturbations anthropogéniques, raison pour laquelle nous retrouvons les espèces sensibles à la pollution telles que *Cryptococcus punctulatus*, *Perlinella drymo*, *Batastoma sp.*, *Isogenus modesta*, *Nemura marginata*, *Lepidostoma sp.*, *Hydropsyche simulans*, ... Conformément aux analyses de la pollution chimique, les analyses chimiques de l'indice de LISEC et IPO, nous montre que ce site n'est pas pollué.

2. Site Cabwinamwami

Le site Cabwinemwami est pollué par diverses sources de pollution notamment:

- La dégradation des terres : cette dégradation entraîne l'érosion des terres qui détache des fragments ou des particules de sol ou des roches de leur emplacement initial par l'eau des pluies pour le remettre dans la rivière. Ceci étant accélérer suite à la mauvaise technique agricole pratiquée aux alentours de la rivière. Aussi, ce site étant situé à côté d'un marché, les déchets issus du marché sont jetés dans la rivière qui constitue le dépotoir du marché Kabamba.
- Fabrication des briques cuites : cette technique conduit à des effets dévastateurs et elle met à la fois en danger les terres des rives de la rivière par l'implantation incontrôlée et désordonnée des carrières d'extraction de l'argile et la végétation trouvée sur place qui est utilisée comme bois de chargement des fours de cuisson. La conséquence directe est la fragilisation des terres et la perte de leur couvert végétal, condition idéale pour une érosion des berges d'une extrême violence.
- Elevage : dans ce site on observe une fréquentation des animaux d'élevage qui viennent s'abreuver en polluant d'avantage l'eau de la rivière Nyabarongo. C'est un site d'abattoir d'animaux et les déchets d'abatage se retrouvent dans l'eau de la rivière.
- Activités anthropogéniques des populations environnantes : en effet, la population environnant ce site utilise ses eaux pour la lessive, l'abreuvement et la baignade. On y rencontre beaucoup des déchets humains.

En bref, ce site est tellement pollué par les polluants organiques. C'est ainsi qu'on y rencontre des espèces tolérantes de la pollution et une faible richesse spécifique.

3. Site Ceshero

Ce site est situé et localisé dans les marais drainés de Ceshero et Irambo, près de l'embouchure de la rivière Nyabarongo. Le site Ceshero est le récepteur de toutes les décharges organiques entraînées par le courant fort de sites en amont.

Malgré la réception de toutes les décharges, le site Ceshero est moins pollué que le site de Cabwinemwami à cause de ces deux marais qui aident à filtrer les eaux chargées des matières organiques qui entrent dans ce site. Cette situation a été observée dans le site en aval de la rivière Lwiro (Bagalwa, 2006). Les sources de la pollution dans ce site sont:

- L'agriculture qui produit l'érosion dans les rives car on ne respecte pas les techniques culturales, L'érosion emporte toutes les terres dans l'eau et on remarque une sédimentation dans son embouchure.
- L'utilisation des plantes toxiques : certaines plantes sont utilisées par la population pour la lessive et la pêche inadaptée dans ce site.

CONCLUSION SUR LA RECOLTE DES MACROIVERTEBRES ET LES ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES DES SITES D'ETUDE

L'évaluation de la qualité des eaux de la rivière Nyabarongo par les indices chimiques a été menée pendant une période allant de Janvier à Juillet 2010 dans 3 sites de la rivière Nyabarongo. Cette rivière est utilisée par la population de l'amont en aval pour ses besoins vitaux

Pour y arriver, les indices chimiques (IPO et LISEC) ont été calculés se basant sur les paramètres chimiques: Oxygène dissous, Saturation en Oxygène, Demande Biologique en Oxygène après 5 jours d'incubation, Phosphore total, Nitrate et ammonium.

Les résultats obtenus en calculant les deux indices chimiques IPO et LISEC indiquent que la rivière Nyabarongo est polluée dans deux sites Cabwinemwami et Ceshero, deux sites situés au milieu et en aval de la rivière. Les sources de cette pollution organique sont diverses: fabrication des briques cuites le long de la rivière, activités anthropogéniques de la population environnante, dépotoir du marché Kabamba ainsi que des ménages, dégradation des terres et érosion des sols.

La présence des espèces sensibles à la pollution dans le site en amont et les espèces résistantes à la pollution dans les deux autres sites corroborent bien avec les indices chimiques trouvés dans ce travail.

Cette situation prouve à suffisance que les eaux de la rivière Nyabarongo constituent un danger immédiat à long terme de santé publique d'une part et pour le Lac Kivu qui en est récepteur d'autre part.

En vue de prévoir les maladies à risque de contamination hydrique et de sauvegarder cet écosystème aquatique contre la pollution organique, il s'avère indispensable de signaler que des mesures urgentes et adéquates d'assainissement de l'environnement devraient être arrêtées à tous les niveaux.

Nous ne prétendons pas avoir épuisé le travail, d'autres organismes peuvent être utilisés pour apprécier la qualité d'eau de cette rivière. Il s'agit notamment des bactéries, virus, diatomées, macrophytes, des poissons, des macroinvertébrés, etc.

Nous recommandons à nos successeurs de continuer cette recherche dans la même rivière ou ailleurs en utilisant d'autres organismes comme indicateurs de pollution pour permettre de tirer une conclusion plus fiable de la qualité des eaux de la rivière Nyabarongo.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Allan, J. D., & Castillo, M. M. (2007). *Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters*. Springer.
2. Ammar, R., Monge, M. E., George, C., & D'Anna, B. (2010). Photoenhanced NO₂ loss on simulated urban grime. *Chemical Physics*, 11(18), 3956–3961.
3. Anonyme. (1974). *Plan directeur de l'environnement et conservation de la nature*. PNUD, 87 p.
4. Anonyme. (1994). *Manuel pour l'analyse de la qualité de l'eau*.
5. Anonyme. (2011). *Qualités physico-chimiques générales des eaux de surface : Directive-cadre européenne sur l'eau*, 7 p.
6. Anonyme. (2014). *Plan directeur de l'environnement et conservation de la nature*. PNUD, 49 p.
7. Anonyme. (2015). *Les bio-indicateurs essentiels des rivières d'eau douce du Québec*. Médecine d'Afrique Noire, p. 38.
8. Armitage, P. D., Cranston, P. S., & Pinder, L. C. V. (1995). *The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-biting Midges*. Chapman & Hall.
9. Bagalwa, M. (2006). The impact of land use on water quality of the Lwiro River (RDC). *African Journal of Aquatic Science*, 31(1), 137–143.
10. Bagalwa, M., & Baluku, B. (1997). Distribution des mollusques dulcicoles hôtes intermédiaires de schistosomes humains à Katana (Sud-Kivu). *Revue de Médecine Tropicale*, 57, 369–372.
11. Bagalwa, M., & Kubuya, B. (2009). Study of water quality of the Cirhanyobwa River (Eastern DR Congo). *Cahiers du CERUKI*, numéro spécial, 33–44.
12. Bagalwa, M., Mirenge, Z., Kakogozo, B., & Kilosho, T. (2005). Étude de quelques paramètres physico-chimiques du Nord-Ouest du lac Tanganyika et ses affluents. In *Rapport P-BEATRA* (pp. 90–105).
13. Baluku, B. (2000). *Cours de limnologie*. ISEC, Katana, 56 p.
14. Baluku, B., Josen, G., & Loreau, M. (1989). Étude préliminaire de la densité et de la répartition des mollusques dans deux cours d'eau du Zaïre oriental. *Revue de Zoologie Africaine*, 103, 291–302.
15. Barbour, M. T., Gerritsen, J., Snyder, B. D., & Stribling, J. B. (1999). *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers*. U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Washington, DC.
16. Bayongwa, C. (2009). Étude de la pollution organique de la rivière Cirhanyobwa par la méthode biologique (Mémoire inédit). U.O./Katana, 28 p.
17. Bolombo, B. (1996). Contribution à l'évaluation biologique de la pollution de la rivière Wesha par les macroinvertébrés benthiques (Mémoire inédit). ISP Bukavu, 48 p.
18. Bonada, N., Prat, N., Resh, V. H., & Statzner, B. (2006). Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523.
19. Brémond, R., & Vuichard, R. (1968). *Les paramètres de la qualité des eaux*. Documentation Française, Paris, 179 p.

20. Brown, D. S. (1994). *Freshwater Snails of Africa and Their Medical Importance*. Taylor & Francis, London.
21. Carpenter, S. R., Caraco, N. F., Correll, D. L., et al. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, 8(3), 559–568.
22. Chalazire. (1999). Contribution à la connaissance de la pollution organique dans trois rivières affluents du lac Kivu (TFC inédit). UEA Bukavu.
23. Chapman, D. (1996). *Water Quality Assessments*. UNESCO/WHO/UNEP.
24. Chapman, D., & Kimstach, V. (1996). Selection of Water Quality Variables. In *Water Quality Assessments*. UNESCO/WHO/UNEP.
25. Charbonneau, J. P. (1978). *Encyclopédie de l'écologie*. Larousse, Paris, 487 p.
26. Dajoz, R. (2006). *Précis d'écologie*. Dunod, Paris.
27. Didier, J. (1977). *Indice biotique d'intégrité piscicole pour l'évaluation des écosystèmes lotiques*. Presses Universitaires de Namur, Belgique.
28. Dodds, W. K., & Smith, V. H. (2016). Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters*, 6(2), 155–164.
29. Dodson, S. I. (2005). *Introduction to Limnology*. McGraw-Hill, New York, 400 p.
30. Drapeau, J., & Jankovics. (1977). *Manuel de microbiologie de l'environnement*. OMS, Genève, 251 p.
31. Evrad. (1994). *Écologie des eaux continentales*. FUNDP, Namur, 42 p.
32. Gay, M. (1994). *Indice biologique global normalisé (IBGN)*. France.
33. Kalakuko, K. (2006). Déposition atmosphérique des macronutriments dans la ville de Bukavu et impact sur le lac Kivu (Mémoire inédit). ISP Bukavu.
34. Leclercq, L. (2001). *Les eaux courantes : caractéristiques et moyens d'évaluation de la qualité*. Région Wallonne, Belgique.
35. Leclercq, L. (2003). *Intérêt et limites des méthodes d'estimation de la qualité de l'eau*. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 35 p.
36. Leclercq, L., & Maquet, B. (1987). *Deux nouveaux indices chimiques et diatomiques de qualité de l'eau courante : application au Samson et à ses affluents (bassin de la Meuse belge)*.
37. Lounaci, A. (2014). Diversité des faunes macroinvertébrées benthiques d'Algérie. *4e Congrès Franco-Maghrébin de Zoologie*, Tunisie, 9 p.
38. Malmqvist, B., & Rundle, S. (2000). Threats to running water ecosystems of the world. *Environmental Conservation*, 29(2), 134–153.
39. Marleir, G. (1952). Recherche hydrobiologique dans les rivières du Congo oriental. *Hydrobiologia*, 255–263.
40. Matunguru, M. (1999). Contribution à la connaissance de la pollution organique dans la rivière Lwiro (TFC inédit). ISEC Katana, 33 p.
41. Mbonekuba, A. (2001). Distribution des macroinvertébrés en fonction de la nature du fond dans la rivière Lwiro (TFC inédit). ISEC Katana, 37 p.
42. Merritt, R. W., Cummins, K. W., & Berg, M. B. (2019). *An Introduction to the Aquatic Insects of North America*. Kendall Hunt Publishing.
43. Micha, J. (1984). *Cours de contrôle biologique de la pollution*. FUNDP, Namur, 38 p.
44. Micha, J., & Noiset, J. (1982). *Évaluation biologique des ruisseaux et rivières par les macroinvertébrés aquatiques*. 142 p.

45. Mucheso, M. (2006). Stratification des macronutriments et facteurs physico-chimiques du bassin de Kalehe (lac Kivu) (Mémoire inédit). ISP Bukavu, 36 p.
46. Mulangalio, R. (2005). Étude physico-chimique des eaux de la rivière Ruzizi et de ses affluents (Mémoire inédit). ISP Bukavu, 40 p.
47. Mushengezi, M. (2002). Inventaire de la biodiversité de la rivière Chirhanyobwa : macroinvertébrés benthiques (TFC inédit). ISEC Katana.
48. Ngera, M. (2000). Inventaire des macroinvertébrés des ruisseaux de Lwiro. Rapport annuel, 6 p.
49. Ngera, M. (2006). Inventaire des macroinvertébrés des ruisseaux de Lwiro. CRSN Lwiro (rapport inédit).
50. Olivier, L., & Scheiderman, M. (1952). Method for estimation of aquatic snail population density. *Experimental Parasitology*, 5, 109–117.
51. OMS. (1985). *Directives de qualité pour l'eau de boisson* (Vol. 1). Genève, 130 p.
52. Pennak, R. (1952). *Freshwater Invertebrates of the United States*. Ronald Press, New York, 769 p.
53. Pennak, R. (1953). *Freshwater Invertebrates of the United States*. Ronald Press, New York, 796 p.
54. Pesson, P. (1976). *La pollution des eaux continentales : indices sur les biocénoses aquatiques*. Bordas, Paris, 243 p.
55. Ramade, F. (1992). *Éléments d'écologie : écologie appliquée*. Paris, 578 p.
56. Rodier, J. (1984). *L'analyse de l'eau* (7e éd.). Dunod, Paris, 1135 p.
57. Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Brunet, R. (2016). *L'Analyse de l'eau* (10e éd.). Dunod.
58. Rosenberg, D. M., & Resh, V. H. (1993). *Freshwater Biomonitoring and Benthic Macroinvertebrates*. Chapman & Hall, New York.
59. Tachet, H., & Noiset, J. L. (1980). *Introduction à l'étude des macroinvertébrés*.
60. Tachet, H., Richoux, P., Bournaud, M., & Usseglio-Polatera, P. (2010). *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie* (2e éd.). CNRS Éditions, Paris.
61. Verneau, J., & Tuffery, J. (1967). Méthode zoologique de détermination de la qualité biologique des eaux courantes. *Annales Scientifiques de l'Université de Besançon*, 3, 73–90.
62. Vivier, P. (1946). *La vie dans les eaux douces*. PUF, France, 128 p.
63. Washington, H. G. (1984). Diversity, biotic and similarity indices: a review with special relevance to aquatic ecosystems. *Water Research*, 18(6), 653–694.
64. Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: Lake and River Ecosystems* (3rd ed.). Academic Press, 1006 p.
65. Wetzel, R. G., & Likens, G. E. (2000). *Limnological Analysis*. Springer, 429 p.

ANNEXES

LISTE DES ESPÈCES IDENTIFIÉES DANS LES TROIS SITES D'ÉTUDE

ANNEXE 1

Tableau 6: Densité relative mensuelle, importance relative moyenne, la Constance et la richesse spécifique des macroinvertébrés au Site Kabirikarhaba (Site 1)

[illegible]

[illegible]

<i>F. Lumbriculidae</i>										
<i>Lumbriculus surtoa</i>	-	-	-	-	-	-	1	0,14	0,2	14,29
<i>C1. Huridiné</i>										
<i>Arhynchobdellides</i>										
<i>F. Glossiphonidae</i>										
<i>Glossiphonia complanata</i>	-	-	3	2	-	-	-	0,71	0,99	28,6
<i>E. Nemathelminthe</i>										
<i>C1. Nematodes</i>										
<i>O. Gordiides</i>										
<i>F. Gordiidae</i>										
<i>Gordius robustus</i>	1	-	-	1	-	-	-	0,29	0,4	28,6
Richesse spécifique	19	10	18	13	18	15	22			
Densité	56	50	52	88	120	63	75			
Richesse spécifique totale	33									

Source: Nos récoltes sur terrain.

On y trouve 4 embranchements des macroinvertébrés, celui des arthropodes, annélides, némathelminthes et des Mollusques. Les Arthropodes sont représentés par 3 classes: la classe des arachnides et celle des crustacés, des insectes, la classe des arachnides des crustacés. L'embranchement des annélides lui est représenté par une classe, celle des oligochètes. L'embranchement des némathelminthes est représenté par une classe et l'embranchement des mollusques est représenté par une classe des gastéropodes.

La richesse spécifique mensuelle pour ce site varie d'un mois à l'autre de 19 à 22 individus, mais la richesse spécifique totale est de 33 espèces. La densité relative spécifique tant mensuelle que moyenne est élevée car elle varie respectivement de 50 à 120 individus par temps de récolte. Les espèces dominantes dans ce site sont: *Cryptococcus punctulatus* (100%), *Perlinella drymo* (85,7%), *Batostoma sp.* (71,42%), *Lepidostoma sp.* (85,71%), *Hydropsyche sinuatum* (100%), *Plecoptera striola* (71,42%), *Tachopteryx thorey* (85,71%), *Simulium venustum* (72,96%), *Chironomus tantans* (72,96%), *Agyronecta aquaticum* (71,42%), *Agyronecta sp.* (100%) et *Potamon sp.* (71,42%).

La présence des espèces des ordres des dictyoptères, des plécoptères et certaines espèces de l'ordre des trichoptères montrent que ce site est non pollué comme nous l'avait indiqué les indices chimiques de LISEC et de PO calculés dans ce travail. En effet, ces espèces sont sensibles à la pollution. Leur présence dans un système aquatique montre que le système n'est pas pollué (Anonyme, 2014).

ANNEXE 2

Tableau 7. Densité relative mensuelle, importance relative moyenne, la constance et la richesse spécifique des macroinvertébrés du site Cabwinemwami (Site 2).

[illegible]

<i>O. Arhynchobdellides</i>										
<i>F. Glossiphonidae</i>										
<i>Glossiphonia complanata</i>	5	2	-	2	1	-	4	2	7,83	71,43
<i>Hoemopsis sanguisuga</i>	8	11	10	8	7	17	6	9,57	37,43	100
<i>E. Nemathelminthe</i>										
<i>C1. Nematodes</i>										
<i>O. Gordiides</i>										
<i>F. Gordiidae</i>										
<i>Gordius robustus</i>	-	-	1	-	-	-	-	0,14	0,56	14,28
Richesse spécifique	04	07	07	06	10	04	06			
Densité	22	27	23	21	44	24	18			
Richesse spécifique totale	17									

Source : Enquête de terrain

Les résultats du tableau 7 nous montrent 3 embranchements des macroinvertébrés, celui des Arthropodes, des annélides et des némathelminthes. La richesse spécifique mensuelle varie d'un mois à l'autre de 4 à 10 espèces. La richesse spécifique totale est de 16 espèces. La densité relative spécifique est moyenne, varie entre 18 à 44 individus pour 10 minutes de récolte.

Les espèces les plus dominantes dans ce site sont: *Simuluis venustum* (71,43%), *Lumbriculuis sutroa* (71,43%), *Glossiphonia complanata* (71,43%), *Hoemopsis sanguisuga* (100%). Les autres espèces sont des espèces sporadiques qu'on retrouve soit une fois ou deux fois pour les 7 mois d'échantillonnage.

Nous remarquons que ce site est tellement fréquenté et on y rencontre des débris végétaux en décomposition, des matières fécales dans l'eau, beaucoup d'activités de la population malgré la saleté trouvée dans l'eau, Comme nous l'avons vu pour les indices chimiques, ce site est pollué en utilisant les indices de LISEC et IPO. Quant aux macroinvertébrés, nous trouvons des espèces dominantes telles que: *Hoemopsis sanguisuga*, *Lumbriculuis sutro*, *Glossiphonia complanata* qui sont indicatrices des eaux polluées (Anonyme, 1011).

Quant au site 3 qui couvre l'embouchure de la rivière Nyabarongo, les résultats des récoltes mensuels des macroinvertébrés durant le mois d'étude sont compilés dans le tableau 8 ci-dessous.

ANNEXE 3.

Tableau 8. Densité relative mensuelle, importance relative moyenne, la Constance et la richesse spécifique des macroinvertébrés du site Ceshero (Site 3).

Taxa	Jan v	Févr .	Mar s	Avri l	Ma i	Jui n	Juille t	Moye n	Import relativ e	Cons t
<i>E Anthropode</i>										
<i>C1. Insectes</i>										
<i>O. Plécoptère</i>										
<i>F. Perlidae</i>										
<i>Perlinella drymo</i>	1	14	1	1	-	1	1	2,71	3,77	85,71
<i>O. Tricoptère</i>										
<i>F. Hydropsychidae</i>										
<i>Hydropsyche simulans</i>	-	2	-	-	-	-	-	0,29	0,58	14,29
<i>O. Ephemroptère</i>										
<i>F. Caenidae</i>										
<i>Caenis sp</i>	-	-	-	-	5	-	-	0,71	1,44	14,29
<i>O. Heteroptère</i>										
<i>F. Nepidae</i>										
<i>Nepa cinerea</i>	3	-	-	-	-	-	1	0,57	1,15	28,57
<i>F. Naucoridae</i>										
<i>Percoris femoratus</i>	1	-	-	12	3	-	1	2,43	4,91	57,14
<i>F. Gerridae</i>										
<i>Gerris lacustris</i>	-	-	-	-	-	-	1	0,14	0,29	14,29
<i>O. Odonata</i>										
<i>F. Coenagionidae</i>										
<i>Pseudagrion sp</i>	-	-	-	-	-	53	40	13,29	28,8	28,57
<i>E. Libellulidae</i>										
<i>Tachopterx thorey</i>	1	-	2	17	5	12	3	5,71	11,53	85,71
<i>F. Gomphidae</i>										
<i>Progomphus obscuris</i>	3	4	-	-	7	-	1	2,14	4,32	57,14
<i>O. Diptère</i>										
<i>F. Simuliidae</i>										
<i>Simulius</i>	-	2	-	-	-	-	-	0,29	0,58	14,29

<i>Venastrum</i>										
<i>F. Psychodidae</i>										
<i>Psychoda sp</i>	17	-	13	26	12	-	3	10,14	20,46	71,43
<i>E. Mollusques</i>										
<i>C1.</i>										
<i>Gasteropodes</i>										
<i>O.</i>										
<i>Basommatophor</i> <i>e</i>										
<i>F. Planorbidae</i>										
<i>Biomphalaria</i> <i>pfeifferi</i>	1	11	2	12	8	8	14	8	16,4	100
<i>Biomphalaria</i> <i>smithi</i>	-	3	-	-	2	3	10	2,57	5,19	57,14
<i>F. Lymnaeidae</i>										
<i>Lymnae</i> <i>collumella</i>	-	-	-	-	-	-	1	0,29	0,4	28,6
<i>Lymnae</i> <i>natalensis</i>	-	2	-	2	6	-	-	1,43	2,88	42,86
Richesse spécifique	06	07	04	05	08	04	10			
Densité	26	39	17	69	48	73	75			
Richesse 15	spécifique							totale		

Source: Enquête de terrain

Les résultats présentés dans le tableau 8 ci-dessus montrent 2 embranchements des macroinvertébrés; celui des arthropodes et des mollusques. L'embranchement des annélides et des némathelminthes ne sont pas représentés dans ce tableau durant les 7 mois de récolte.

La classe des insectes est plus représentée que les autres. La richesse spécifique mensuelle pour ce site varie d'un mois à l'autre de 4 et 8 espèces et est liée à la saison. Elle est plus importante pendant la saison sèche (Juin et Juillet), mais la richesse spécifique totale est de 15 espèces. C'est une richesse spécifique non négligeable. La densité relative mensuelle est moyenne et varie entre 17 et 75 individus par temps de récolte.

Les espèces dominantes sont: *Tachopteryx thorey* (85,71%), *Psychoda sp.* (71,43%), *Biomphalaria pfeifferi* (100%). Les espèces moins dominantes dans ce site sont: *Perlinelladyymo* (14,29%), *Hydropsyche simulum* (14,29%), *Caenis sp.* (14,29%), *Nepa cinerea* (28,57%), *Gerris lacustris* (14,29%), *Pseudogryllon sp.* (28,57%), *Simulus venustum* (14,29%), *Lymnea collumella* (14,29%) et *Lymnea natalensis* (42,86%).

La présence des Mollusques *Biomphalaria pfeifferi* et *Biomphalaria smithi* présente un danger pour la population riveraine qui s'y baignent car ces mollusques sont des hôtes intermédiaires de la schistosomiase à *Schistosoma mansoni* conduites (Bagalwa, 2000;

Bagalwa et Kubuya, 2009; Matunguru, 1999). En effet, il a été trouvé que les activités anthropogéniques le long de ces rivières contribuent à cette pollution et plus ces activités sont intenses dans les berges ou au fur et à mesure que la population augmente. C'est le cas aussi pour la rivière Nyabarongo, Même quand on observe la densité des macroinvertébrés, elle diminue avec la pollution de l'amont en aval, En amont, on trouve les espèces moins résistantes à la pollution (Lounaci A, 2014).

Les résultats des indices chimiques corroborent bien avec ceux des macroinvertébrés; ce qui laisse entretenir qu'on peut utiliser les deux indices pour caractériser la pollution dans les rivières Ammar et al., 2010).