



Structure spatio-temporelle des populations de macroinvertébrés benthiques de la rivière Bibwa à Kinshasa, RD Congo

Spatio-temporal structure of benthic macroinvertebrate populations of the Bibwa River in Kinshasa, DR Congo

Clément Kilingwa Munganga^{1,2,3}, Willy Swana Lusasi^{1,3*}, Santos Mutanda Kavumbu^{1,2,3}, John Makiadi Tembeni^{1,3}, José Mayi Munene Mbimbi³ & Victor Kiamfu Pwema^{1,3}

¹ *Laboratoire de Limnologie, Hydrobiologie et Aquaculture, Mention Sciences de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa (UNIKIN), République Démocratique du Congo*

² *Centre d'Excellence Chimique, Biologique, Radiologique et Nucléaire (CoE-CBRN), Ministère de la Recherche Scientifique et de l'Innovation Technologique, Kinshasa, RD Congo*

³ *Mention Sciences de la Vie, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa (UNIKIN), République Démocratique du Congo*

Résumé

Cette étude a pour objectif d'analyser la structure spatio-temporelle des populations de macroinvertébrés benthiques de la rivière Bibwa à Kinshasa (République Démocratique du Congo) et d'évaluer la répartition des taxons du macrofaune en relation avec les variables abiotiques. La recherche a été conduite de juin 2023 à janvier 2024, au cours de laquelle quatre campagnes d'échantillonnage ont été réalisées sur cinq stations le long de cette rivière (trois réplicats par station, surface échantillonnée de 0,09 m², maille de 1 mm). Pour collecter les macroinvertébrés, un filet troubleau a été utilisé. Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde multiparamétrique, suivis du dosage au laboratoire pour d'autres paramètres. Les analyses statistiques incluent des tests non paramétriques (Kruskal-Wallis), des corrélations de Spearman, une analyse en composantes principales et une analyse canonique des correspondances. Au total, 317 spécimens de macroinvertébrés benthiques ont été inventoriés, dont 204 pendant la saison des pluies et 113 durant la saison sèche, répartis en 3 classes (Insectes, Mollusques et Clitellates), 6 ordres (Coléoptères, Hémiptères, Diptères, Odonates, Gastéropodes et Haplotaxides) et 10 familles (*Hydrophilidae*, *Dytiscidae*, *Nepidae*, *Naucoridae*, *Chironomidae*, *Coenagrionidae*, *Libellulidae*, *Lymnaeidae*, *Lumbricidae* et *Tubificidae*). Aucun taxon des ordres Éphéméroptères, Plécoptères ou Trichoptères (EPT) n'a été identifié, ce qui constitue un indicateur de perturbation écologique. En ce qui concerne la variation des paramètres physico-chimiques de l'eau, il s'observe que l'eau de la rivière Bibwa est chaude et présente une température comprise entre 24,7±0,24°C et 26,1±0,28°C. La concentration des ions en solution est faible ; la conductivité s'élève entre 2,66±0,44 et 48,66±7,55 µS/cm tandis que la turbidité se situe entre 1,33±1,33 et 24,33±3,77 UNT. De faibles concentrations en nitrate (2,88±0,17 à 4,18±0,46 mg/L) et phosphate (0,25±0,01 à 0,4±0,01 mg/L) sont relevées. Les analyses statistiques révèlent une différenciation significative des communautés entre saisons (p = 0,008) et une influence majeure de la conductivité (ρ = 0,89 avec la turbidité) et de la turbidité sur la distribution des taxons. Les indices de diversité de Shannon (1,5 à 2,0) et d'équitabilité de Pielou (0,82 à 0,95) indiquent une diversité modérée et une condition écologique favorable, permettant aux macroinvertébrés, notamment les familles polluo-sensibles, de se développer dans cet écosystème. La présence de *Chironomidae* et *Tubificidae* suggère une perturbation anthropique modérée, nécessitant des mesures de gestion.

Mots-clés : Structure, diversité, macroinvertébrés, variables abiotiques, rivière Bibwa, Kinshasa, RD Congo.

Abstract

This study aims to examine the spatiotemporal structure of benthic macroinvertebrate populations in the Bibwa River in the city of Kinshasa, Democratic Republic of Congo, in order to evaluate the distribution of macrofauna taxa in this river in relation to abiotic variables. The research was conducted from June 2023 to January 2024, during which four sampling campaigns were carried out at five stations along this river (three replicates per station, sampled area of 0.09 m², mesh size 1 mm). To collect macroinvertebrates, a kick net was used. Physicochemical parameters were measured *in situ* using a multiparameter probe, followed by laboratory analysis for other parameters. Statistical analyses included non-parametric tests (Kruskal-Wallis), Spearman correlations, principal component analysis, and canonical correspondence analysis. The results obtained show a total of 317 benthic macroinvertebrate specimens inventoried, of which 204 were during the rainy season and 113 during the dry season, distributed into 3 classes (Insects, Mollusks, and Clitellates), 6 orders (Coleoptera, Hemiptera, Diptera, Odonata, Gastropoda, and Haplotaxida), and 10 families (*Hydrophilidae*, *Dytiscidae*, *Nepidae*, *Naucoridae*, *Chironomidae*, *Coenagrionidae*, *Libellulidae*, *Lymnaeidae*, *Lumbricidae* and *Tubificidae*). No taxa from the orders Ephemeroptera, Plecoptera, or Trichoptera (EPT) were identified, which constitutes an indicator of ecological disturbance. Regarding the variation of the physicochemical parameters of the water, it is observed that the water of the Bibwa River is warm and has a temperature ranging from 24.7±0.24°C to 26.1±0.28°C. The concentration of ions in solution is low; conductivity ranges from 2.66±0.44 to 48.66±7.55 µS/cm, while turbidity ranges from 1.33±1.33 to 24.33±3.77 NTU. Low concentrations of nitrate (ranging from 2.88±0.17 to 4.18±0.46 mg/L) and phosphate (ranging from 0.25±0.01 to 0.4±0.01 mg/L) are noted. Statistical analyses reveal significant seasonal differentiation of communities (p = 0.008) and a major influence of conductivity (ρ = 0.89 with turbidity) and turbidity on taxon distribution. The Shannon diversity indices (1.5 to 2.0) and Pielou's Equitability (0.82 to 0.95) indicate moderate diversity and a favorable ecological condition, allowing macroinvertebrates, particularly pollution-sensitive families, to thrive in this ecosystem. The presence of *Chironomidae* and *Tubificidae* suggests moderate anthropogenic disturbance, requiring management measures.

Keywords: Structure, diversity, macroinvertebrates, abiotic variables, Bibwa River, Kinshasa, DR Congo

*Auteur correspondant: Clément Kilingwa Munganga, (willy.lusasi@unikin.ac.cd). Tél. : (+243) 813 662 026

ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-2526-7903>; Reçu le 02/03/2026 ; Révisé le 26/03/2026 ; Accepté le 20/04/2026

DOI: <https://doi.org/10.59228/rcst.026.v5.i2.263>

Copyright: ©2026 Munganga et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License (CC-BY-NC-SA 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

1. Introduction

La présence d'une biodiversité riche est essentielle au bon fonctionnement des écosystèmes aquatiques, car elle contribue à la stabilité et à l'adaptabilité des organismes face aux fluctuations environnementales (Gravel et al., 2009). Une compréhension approfondie des milieux aquatiques nécessite une étude détaillée de leurs biotopes et biocénoses.

Un écosystème aquatique en bon état assure diverses fonctions telles que la production, la régulation et l'organisation (ou structuration). Il s'agit à la fois de l'organisation physique des systèmes (structuration paysagère) et de leur organisation biologique (biodiversité). La structure biologique dans les écosystèmes aquatiques est fortement influencée par les gradients longitudinaux, les variations saisonnières et le régime hydrologique (Vannote et al., 1980).

Parmi les organismes les plus utilisés pour l'analyse écologique des écosystèmes lotiques, les macroinvertébrés benthiques occupent une place centrale en raison de leur diversité, de leur sensibilité aux perturbations de la qualité de l'eau et de leur habitude largement sédentaire (Rosenberg & Resh, 1993).

Ils jouent notamment un rôle crucial dans la chaîne alimentaire des milieux aquatiques car ils constituent une source de nourriture primordiale pour de nombreuses espèces de poissons, d'amphibiens et d'oiseaux (Moisan, 2010).

La connaissance sur les invertébrés aquatiques en Afrique a considérablement progressé grâce aux contributions de nombreux chercheurs. Des études marquantes, telles que celles de Durand et Lévêque (1981), l'iconographie des insectes aquatiques de Dejoux et al. (1983), ainsi que les travaux de Tachet et al. (2010), illustrent cette avancée. Cependant, l'installation de barrages dans un écosystème aquatique, l'occupation des berges et bassins versants par des activités anthropiques diverses modifient le bon fonctionnement de l'environnement aquatique, créant des zones lenticques qui obligent la communauté benthique à s'adapter (Bredenhard & Samways, 2009).

La République Démocratique du Congo abrite de nombreux cours d'eau, dont beaucoup restent peu étudiés, notamment ceux des forêts ombrophiles de la cuvette centrale congolaise (Burgis & Symoens, 1987).

La plupart des travaux sur les milieux aquatiques qui traversent les grandes villes de la RD Congo sont orientés vers l'étude des poissons, des contaminants biologiques et chimiques ainsi que la qualité physico-chimique.

Les récents travaux dans quelques écosystèmes aquatiques lotiques, notamment dans les bassins des rivières Lukunga (Kamb, 2013) ; Gombe, Kinkusa et Mangenge (Kamb et al., 2015, 2018) ; Mutonkole et al. (2015) ; Akatumbila (2020) ; Musolo, Munganga et al. (2020) ; Sisa et al. (2022) ; Mumbanga et al. (2025), ont largement enrichi la connaissance de la diversité taxonomique et la distribution de la biodiversité des macroinvertébrés de la ville province de Kinshasa mais également dans la province de Kwilu.

Bien que ces travaux précités aient largement contribué à la connaissance de la biodiversité des macroinvertébrés du bassin du Congo, un grand nombre d'écosystèmes aquatiques restent toutefois insuffisamment étudiés malgré leur importance écologique et socio-économique.

La présente étude s'inscrit dans la suite logique des travaux précités et est consacrée à la structure spatio-temporelle des populations des macroinvertébrés benthiques de la rivière Bibwa à Kinshasa, RD Congo. La rivière Bibwa, comme la majorité des cours d'eau secondaires de la ville province de Kinshasa ou du bassin du fleuve Congo, traverse des zones rurales et périurbaines confrontées à une intensification des activités anthropiques telles que l'agriculture, l'extraction artisanale du sable, l'érosion des berges et les rejets de déchets domestiques, susceptibles d'altérer la qualité écologique de l'habitat, de modifier les paramètres physico-chimiques, de réduire la diversité biologique des macroinvertébrés et de perturber l'équilibre de la biocénose (Brusle & Quignard, 2004 ; Allan, 2004 ; Kasangaki & Balirwa, 2008). Parallèlement aux activités anthropiques citées ci-haut, les fluctuations saisonnières qui caractérisent la plupart des cours d'eau tropicaux influencent de manière déterminante la structure des communautés benthiques (Jacobsen et al., 2008).

À l'heure actuelle, aucune étude approfondie n'a été réalisée pour évaluer les effets combinés des activités anthropiques et des fluctuations saisonnières sur la faune benthique de la rivière Bibwa. Ainsi, l'absence de données locales fiables, comme le suggèrent Kamulondola & Tshopamba (2018), limite la compréhension des interactions entre pressions

anthropiques, dynamique hydrologique et biodiversité benthique de ce cours secondaire du fleuve Congo.

C'est dans ce cadre que s'inscrit cette étude qui a pour objectifs de : (1) décrire la structure spatio-temporelle des macroinvertébrés benthiques de la rivière Bibwa, (2) identifier par des analyses statistiques robustes les facteurs environnementaux influençant leur distribution, et (3) évaluer la qualité écologique du cours d'eau à l'aide d'indicateurs biologiques.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieu d'étude

La rivière Bibwa, affluent du fleuve Congo portant le même nom que le quartier Bibwa, traverse la grande route nationale numéro 1 avant de se jeter dans le fleuve Congo. Située dans la commune de la N'sele, cette rivière constitue le milieu d'étude de la présente recherche. La rivière Bibwa prend sa source dans la vallée du camp Bana Poto, au pied de la montagne Mangenge. La zone d'étude présente une topographie relativement monotone, caractérisée par de vastes plaines formées principalement de dépôts sédimentaires issus des alluvions des rivières Lingundu, Mayi ya pembe, Banguna, Bibwa et N'sele. Ce relief se trouve aux abords du fleuve Congo. Le réseau hydrographique de la commune de la N'sele est constitué principalement par le fleuve Congo et la rivière N'sele. On y trouve également d'autres cours d'eau, notamment les rivières Bibwa, N'sele, Nsanga, Mokali, Mango, etc.

Située dans la zone savanicole, la rivière Bibwa est soumise selon la classification de Koppen à un climat type AW4, c'est-à-dire un climat tropical chaud et humide caractérisé par quatre mois de saison sèche et huit mois de saison pluvieuse (Loleko, 2004). La saison des pluies dure 8 mois, soit de la mi-septembre à la mi-mai, et la saison sèche va de la mi-mai à la mi-septembre, avec une petite saison sèche qui s'étend de la mi-janvier à la mi-février. Quant à la température, deux grands courants de vents soufflent pendant toute l'année sur la ville, aussi bien en altitude qu'au niveau des basses couches. La température moyenne varie entre 25 et 30 °C (Loleko, 2004)

Les macroinvertébrés benthiques ont été collectés dans cinq stations (figure 1) réparties le long de la rivière. Le choix des stations a été fait en prenant en compte plusieurs critères essentiels, tels que la profondeur moyenne de la colonne d'eau, la vitesse d'écoulement, la stabilité des berges, ainsi que la

présence de végétation naturelle sur les rives (Kamb, 2018).

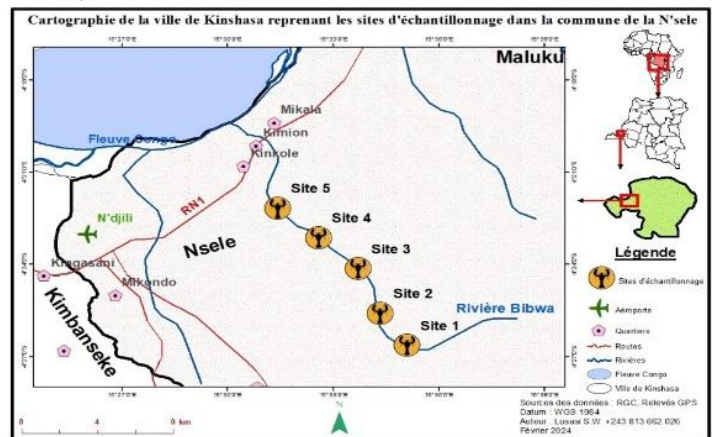


Figure 1 : Cartographie de la ville de Kinshasa reprenant les cinq stations d'étude le long de la rivière Bibwa

2.2. Matériel biologique

Le matériel biologique utilisé dans cette étude est constitué de 317 spécimens de macroinvertébrés benthiques échantillonnés dans la rivière Bibwa.

2.3. Méthodes

Les campagnes d'échantillonnage ont eu lieu entre juin 2023 et janvier 2024. Après une prospection du milieu d'étude, 5 stations de 100 m ont été retenues d'amont en aval à partir de la source. À chaque station de la rivière, la largeur moyenne du lit, la profondeur moyenne de la colonne d'eau, la vitesse moyenne d'écoulement de l'eau, le substrat de fond et la stabilité des berges ont été déterminées.

En plus de ces éléments, nous avons tenu compte de la présence ou non d'activités anthropiques dans les environs du site ou de la station de capture. Les indices des activités anthropiques ont été photographiés à l'aide d'un appareil photo numérique de marque Tecno Camon 20.

2.3.1. Caractérisation hydrologique

La caractérisation de l'hydrologie de la rivière Bibwa sur les sites d'échantillonnage s'est basée sur la détermination de la largeur, de la profondeur moyenne ainsi que de la vitesse d'écoulement.

Le prélèvement de la largeur et de la profondeur moyenne du lit a été réalisé à l'aide d'un mètre ruban de 10 mètres (précision de 0,1 cm) et d'une règle plate graduée (précision de 0,1 cm). Les relevés de profondeur ont été effectués à trois emplacements sur le lit : la berge gauche, le milieu et la berge droite. La profondeur moyenne à chaque station a été calculée en prenant en compte les mesures relevées à ces trois points. De même, la largeur moyenne a été déterminée

en mesurant à trois endroits distincts au sein de chaque station.

La vitesse moyenne d'écoulement de l'eau a été estimée en laissant un flotteur en liège de 2 cm³ dériver à la surface de l'eau, puis en chronométrant le temps nécessaire pour parcourir une distance prédéfinie. Après vérification des données brutes, une erreur d'unité a été identifiée : les valeurs initialement rapportées en m/s correspondaient en réalité à des valeurs en cm/s. L'ensemble des données a été corrigé et est présenté en cm/s dans les tableaux de résultats. Nous avons également noté la stabilité des berges ainsi que la présence ou l'absence de sources potentielles de pollution.

2.3.2. Évaluation des paramètres physico-chimiques

a) Paramètres physiques

Quatre paramètres physiques ont été mesurés in situ : la température (°C), la conductivité (µS/cm), la turbidité (UNT) et le pH. Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'une sonde multiparamètres de marque Combo/Hanna/HI98129. L'oxygène dissous n'a pas été mesuré, ce qui constitue une limite de l'étude.

b) Paramètres chimiques

Les analyses chimiques se sont concentrées sur les ions nitrates (NO₃⁻) et phosphates (PO₄³⁻), exprimés en mg/L. Le dosage de ces éléments a été effectué au Laboratoire de Physique des sols et d'Hydrologie du Commissariat Général à l'Énergie Atomique/Centre Régional d'Études Nucléaires de Kinshasa (CGEA/CREN-K) à l'aide d'un spectrophotomètre UV de marque HACH DR/2400.

2.3.3. Échantillonnage des macroinvertébrés benthiques

L'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques a été réalisé à l'aide d'un filet troubleau. Ce dispositif se compose d'un cadre métallique vertical de 30 cm de côté, sur lequel est fixé un filet conique à mailles de 1 mm, ainsi que d'une structure horizontale de dimensions identiques. Sur chaque station de 100 m, trois répliqués ont été effectués, chaque répliquat correspondant à une surface échantillonnée de 0,09 m² et une durée d'effort de 3 minutes.

Le filet est placé à l'horizontale sur le substrat, avec son ouverture orientée en amont. L'eau est ensuite agitée pour permettre aux organismes de pénétrer dans le filet. Les spécimens collectés ont été soigneusement triés et conservés dans des bocaux en plastique remplis d'eau provenant du site de prélèvement. À chaque relevé, les échantillons de macroinvertébrés capturés

dans le même site sont accompagnés d'une étiquette ad hoc comportant les informations suivantes : la date, la localité, le nom du récolteur.

Au laboratoire, les échantillons ont été fixés dans une solution de formol à 70 %, contenus dans des flacons de 25 ml bien étiquetés, en vue de leur identification ultérieure.

2.3.4. Identification des macroinvertébrés benthiques

L'identification des macroinvertébrés a été réalisée à l'aide des clés de détermination proposées par Durand & Lévêque (1981) ; Mary (2010) ; Tachet et al. (2010). Ce processus s'est effectué sous une stéréoloupe binoculaire, avec un microscope utilisé à l'occasion pour observer des détails précis.

Afin de minimiser les risques d'erreur, l'identification des macroinvertébrés a systématiquement été menée jusqu'au niveau taxonomique de la famille. Cette approche est particulièrement utile pour obtenir une vue d'ensemble de l'écosystème aquatique, représentant un compromis entre le niveau de détail souhaité pour une information écologique pertinente et les possibilités d'identification (Tachet et al., 2010 ; Kamb, 2018). En raison de l'absence de clés adaptées pour une identification spécifique en Afrique centrale et des contraintes de temps, l'identification a été limitée au niveau familial, ce qui constitue une limite importante de l'étude discutée dans la section 4.4.

2.3.5. Indices écologiques évalués

Quelques indices de diversité écologique, tels que la richesse spécifique, l'indice de Shannon et Weaver ainsi que l'indice d'équitabilité de Piélou, ont été calculés à l'aide du logiciel PAST. L'indice BMWP (Biological Monitoring Working Party) et l'ASPT (Average Score Per Taxon) n'ont pas pu être calculés en raison de l'absence de données à une résolution taxonomique suffisante (nécessité d'identification au moins au niveau genre).

a) Richesse spécifique (S)

La richesse spécifique correspond au simple comptage du nombre d'espèces présentes dans l'échantillon.

b) Indice de diversité de Shannon et Weaver

L'indice de Shannon et Weaver (H') est utilisé en écologie pour mesurer la diversité spécifique (Legendre & Legendre, 1984). Il est calculé par la formule suivante :

$$H' = - \sum (p_i \times \log_2 p_i)$$

Avec :

- H' = Indice de diversité de Shannon et Weaver
- S = nombre de taxons (espèces)
- p_i = abondance relative de chaque taxon ($p_i = n_i/N$)

- n_i = effectif du taxon i
- N = effectif total de la station

Dans la nature, H' varie entre 0,5 (faible diversité) et 4,5 (dans le cas d'échantillon de grande taille de communautés complexes).

c) Équitabilité de Pielou

L'indice d'équitabilité permet de mesurer l'équilibre des taxons au sein d'un peuplement. Cet indice est obtenu par le rapport entre l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') et une distribution fictive équitable de ces taxons (Moisan & Pelletier, 2011). Cet indice varie de 0 à 1 et s'obtient par la formule :

$$J' = H' / \log_2(S).$$

La valeur de J' varie entre 0 (une seule espèce domine) et 1 (toutes les espèces ont la même abondance).

2.3.6. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R version 4.2.2 (Core, 2023) :

- Comparaisons entre stations et saisons : test de Kruskal-Wallis (non paramétrique) suivi du test post-hoc de Dunn avec correction de Bonferroni, le seuil de significativité étant fixé à $p < 0,05$.
- Corrélations : coefficient de corrélation de Spearman (ρ) entre variables abiotiques et abondances des taxons.
- Analyse en composantes principales (ACP) : réalisée sur les variables environnementales centrées-réduites pour visualiser la structure des données.
- Analyse canonique des correspondances (CCA) : réalisée sur la matrice d'abondance des taxons (transformée Hellinger) avec les variables environnementales significatives. La significativité des axes et des variables a été testée par permutation (999 permutations).

Les données issues de différents prélèvements, observations et dosages ont été encodées sur le classeur Excel. Les moyennes et les écart-types des valeurs des paramètres physico-chimiques de l'eau de la rivière Bibwa ont été calculés sur Excel. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de tableaux et de graphiques à l'aide des logiciels Origin et Excel. La cartographie de la zone d'étude a été dressée à l'aide du logiciel ArcGIS version 10.8 sur la base des coordonnées géographiques (longitude et altitude) relevées avec le GPS de marque GARMIN Etrex.

3. Résultats

3.1. Paramètres physico-chimiques et hydrologiques

3.1.1. Saison sèche

La variation des paramètres physico-chimiques et hydrologiques des eaux de la rivière Bibwa pendant la saison sèche est présentée dans le [tableau I](#).

Tableau I : Paramètres physico-chimiques et hydrologiques des eaux de la rivière Bibwa pendant la saison sèche (moyenne \pm écart-type)

Variables abiotiques	Station I	Station II	Station III	Station IV	Station V
pH	5,46 \pm 0,68	5,03 \pm 0,51	5,5 \pm 0,33	5,03 \pm 0,17	5,56 \pm 0,57
Température (°C)	25,2 \pm 0,51	24,7 \pm 0,24	25,4 \pm 0,15	25,4 \pm 0,4	26 \pm 0,66
Conductivité (μ S/cm)	4 \pm 0,66	2,66 \pm 0,44	3,33 \pm 2,44	2,66 \pm 2,22	5 \pm 1,33
Turbidité (UNT)	1,33 \pm 1,33	1,33 \pm 1,33	2 \pm 2	3,33 \pm 3,33	8 \pm 8
Largeur (m)	3,93 \pm 0,48	5,2 \pm 0,33	5,83 \pm 0,55	4,26 \pm 0,17	4,8 \pm 0,53
Profondeur (cm)	34,9 \pm 7,97	46,0 \pm 3,84	49,4 \pm 6,6	65,7 \pm 5,95	40,2 \pm 8,48
Vitesse (cm/s)	14,0 \pm 1,33	22,3 \pm 2,44	22,3 \pm 5,77	30,6 \pm 2,22	21,0 \pm 1,33
Nitrate (mg/L)	2,01 \pm 0,10	3,08 \pm 0,03	2,88 \pm 0,08	3 \pm 0,21	3,22 \pm 0,32
Phosphate (mg/L)	0,31 \pm 0,02	0,2 \pm 0,01	0,3 \pm 0,01	0,23 \pm 0,01	0,27 \pm 0,02

Les résultats présentés dans le [tableau I](#) révèlent que la qualité physico-chimique de l'eau de la rivière Bibwa varie à la fois selon les points d'échantillonnage et selon les paramètres mesurés, au cours de la saison sèche :

- Les valeurs de pH comprises entre 5,03 \pm 0,51 (station II) et 5,56 \pm 0,57 (station V) avec une moyenne de 5,32 \pm 0,26 montrent que l'eau de la rivière Bibwa est légèrement acide.
- L'eau de la rivière Bibwa est chaude et présente des valeurs de température relativement stables sur les cinq stations, avec des variations comprises entre 24,7 \pm 0,24 (station II) et 26 \pm 0,66°C (station V). Cela suggère une certaine uniformité thermique le long de la rivière Bibwa pendant la saison sèche.
- Les valeurs de conductivité le long des cinq stations varient de 2,66 \pm 2,22 μ S/cm (station IV) à 5 \pm 1,33 μ S/cm (station V), avec une moyenne globale de 3,53 \pm 1,42 μ S/cm. Cette variation reflète des différences dans la concentration en sels minéraux dissous, pouvant résulter de sources naturelles ou d'influences anthropiques à différents points du cours d'eau.
- L'eau de la rivière Bibwa présente une turbidité globalement faible à modérée, avec des valeurs variant de 1,33 \pm 1,33 UNT (stations I et II) à 8 \pm 8 UNT (station V), et une moyenne globale de 3,20 \pm 3,20 UNT. La valeur la plus élevée, observée à la station V, indique une eau plus trouble, probablement due à la présence accrue de particules en suspension

telles que les sédiments, matières organiques ou autres polluants.

- Les valeurs de largeur varient entre $3,93 \pm 0,48$ mètres (station I) et $5,83 \pm 0,55$ mètres (station III), ce qui peut être influencé par le relief, l'écoulement de l'eau, l'occupation des bassins versants et les activités humaines.

- La profondeur de la colonne d'eau varie de $34,9 \pm 7,97$ cm (station I) à $65,7 \pm 5,95$ cm (station IV) ; ce qui peut fournir des habitats plus favorables pour certaines espèces aquatiques alors qu'une profondeur plus faible peut limiter la diversité des espèces et influencer la qualité de l'eau.

- La rivière Bibwa présente une vitesse d'écoulement de l'eau comprise entre $14,0 \pm 1,33$ cm/s (station I) et $30,6 \pm 2,22$ cm/s (station IV), ce qui suggère que cette dernière influence la densité des macroinvertébrés benthiques et a d'autres effets sur la dynamique des habitats aquatiques.

- Les concentrations de nitrates varient de 2,01 mg/L à la station I à 3,22 mg/L à la station V. Les stations II et IV affichent des valeurs respectives de 3,08 mg/L et 3,00 mg/L, tandis que la station III présente 2,88 mg/L. La station V a la concentration la plus élevée, ce qui pourrait indiquer une influence anthropique, comme des apports agricoles ou des effluents. En général, des niveaux de nitrates inférieurs à 5 mg/L sont considérés comme sûrs pour la vie aquatique, donc ces valeurs semblent relativement acceptables. Cependant, la concentration plus élevée à la station V mérite une attention particulière pour évaluer les sources potentielles de pollution.

- Les concentrations de phosphates varient de 0,2 mg/L à la station II à 0,31 mg/L à la station I. Les autres stations montrent des valeurs de 0,3 mg/L (station III), 0,23 mg/L (station IV) et 0,27 mg/L (station V). Les niveaux de phosphates sont également faibles, ce qui est positif pour la qualité de l'eau. Des concentrations élevées de phosphates peuvent entraîner l'eutrophisation, un phénomène qui provoque la prolifération d'algues nuisibles. Les valeurs observées ici sont en général favorables pour maintenir un écosystème aquatique sain.

3.1.2. Saison des pluies

Les valeurs des paramètres physico-chimiques et hydrologiques relevées durant la saison des pluies à travers les différentes stations d'étude des eaux de la rivière Bibwa sont reprises au [tableau II](#).

Tableau II : Paramètres physico-chimiques et hydrologiques des eaux de la rivière Bibwa pendant la saison des pluies (moyenne \pm écart-type)

Variables	Station I	Station II	Station III	Station IV	Station V
pH	4,3 \pm 0,33	5,3 \pm 0,44	5,7 \pm 0,71	5,6 \pm 0,13	6,4 \pm 0,13
Température (°C)	26,1 \pm 0,28	25,8 \pm 0,55	25,8 \pm 0,37	25,8 \pm 0,37	26 \pm 0,66
Conductivité (μ S/cm)	11,33 \pm 0,44	12,66 \pm 1,11	13,66 \pm 0,44	9,66 \pm 1,77	48,66 \pm 7,55
Turbidité (UNT)	5,66 \pm 0,44	6 \pm 0,66	6,66 \pm 0,44	6,33 \pm 0,88	24,33 \pm 3,77
Largeur (m)	6,8 \pm 0,53	7,95 \pm 0,05	7,03 \pm 0,17	5,33 \pm 0,44	6,66 \pm 0,44
Profondeur (cm)	58,9 \pm 6,91	58,6 \pm 1,97	65,3 \pm 3,77	78,3 \pm 3	41,2 \pm 1,31
Vitesse (cm/s)	18,4 \pm 1,73	26,0 \pm 1,33	36,4 \pm 3,62	35,3 \pm 3,55	46,3 \pm 4,44
Nitrate (mg/L)	2,88 \pm 0,17	4,02 \pm 0,02	3,89 \pm 0,08	4 \pm 0,23	4,18 \pm 0,46
Phosphate (mg/L)	0,37 \pm 0,04	0,3 \pm 0,01	0,4 \pm 0,01	0,25 \pm 0,01	0,27 \pm 0,00

Les paramètres physico-chimiques et hydrologiques relevés dans la rivière Bibwa durant la saison des pluies montrent une variation d'un paramètre à l'autre et d'un site d'échantillonnage à l'autre. Il s'observe que :

- Les valeurs de pH varient de $4,3 \pm 0,33$ (station I) à $6,4 \pm 0,13$ (station V), avec une moyenne de $5,46 \pm 0,68$, indiquant une variation du niveau d'acidité ou d'alcalinité de l'eau le long de la rivière Bibwa durant cette saison.

- L'eau de la rivière Bibwa est chaude et présente une stabilité remarquable de température tout au long du cours d'eau. Bien que la température soit globalement stable, de légères variations sont observées entre les sites d'étude, allant de $25,8 \pm 0,37$ °C (stations II, III et IV) à $26,1 \pm 0,28$ °C (station I), avec une moyenne de $25,9 \pm 0,13$ °C.

- L'eau présente un taux élevé d'ions en solution, avec des valeurs de conductivité comprises entre $9,66 \pm 1,77$ μ S/cm (station IV) et $48,66 \pm 7,55$ μ S/cm (station V), pour une moyenne de $19,19 \pm 14,79$ μ S/cm.

- L'eau de la rivière Bibwa est turbide et semble voir sa turbidité augmenter durant cette saison, comme l'indiquent les valeurs comprises entre $5,66 \pm 0,44$ UNT (station I) et $24,33 \pm 3,77$ UNT (station V), avec une moyenne globale de $9,80 \pm 7,27$ UNT.

- Les valeurs de la largeur du lit de la rivière Bibwa varient entre $5,33 \pm 0,44$ m (station IV) et $7,95 \pm 0,05$ m (station II), avec une moyenne de $6,75 \pm 0,84$ m. Cette variation d'un site à l'autre durant la saison peut être attribuée aux précipitations abondantes.

- La profondeur de la colonne d'eau aux différentes stations montre également une variation saisonnière, avec des valeurs comprises entre

41,2±1,31 cm (station V) et 78,3±3 cm (station IV), pour une moyenne de 60,46±11,99 cm.

- La vitesse d'écoulement de l'eau de la rivière Bibwa pendant la saison des pluies montre une augmentation, avec des valeurs comprises entre 18,4±1,73 cm/s (station I) et 46,3±4,44 cm/s (station V) selon les différentes stations. Cette hausse peut s'expliquer par l'augmentation du débit de la rivière liée aux précipitations abondantes durant cette période.

- La concentration en ions nitrates augmente progressivement de la station I (2,88±0,17 mg/L) à la station V (4,18±0,46 mg/L), ce qui serait lié à une possible source de rejet ponctuel en amont de la rivière ou une augmentation de l'activité agricole le long du bassin versant.

- Les concentrations des ions phosphates dans la rivière Bibwa indiquent des apports externes de phosphate dans les différentes stations le long de la rivière ou sont liées à des processus de décomposition organique. Les concentrations moyennes de phosphate dosées dans les eaux de la rivière sont comprises entre 0,25±0,01 mg/L (station IV) et 0,4±0,01 mg/L (station III).

3.1.3. Analyses statistiques des paramètres physico-chimiques

Le test de Kruskal-Wallis a montré une différence significative entre les stations pour la conductivité en saison des pluies ($H = 13,42$, $p = 0,009$), la turbidité en saison des pluies ($H = 12,87$, $p = 0,012$) et la vitesse d'écoulement en saison des pluies ($H = 14,21$, $p = 0,006$). En saison sèche, seules la largeur ($H = 11,23$, $p = 0,024$) et la profondeur ($H = 12,45$, $p = 0,014$) présentaient des différences significatives entre stations. Une différence saisonnière significative a été observée pour la conductivité ($H = 15,67$, $p = 0,001$), la turbidité ($H = 13,92$, $p = 0,003$) et les nitrates ($H = 10,34$, $p = 0,016$).

3.2. Composition de la faune des macroinvertébrés de la rivière Bibwa

Les taxons identifiés dans la rivière Bibwa en saisons sèche et des pluies sont présentés dans les tableaux III et IV ci-dessous.

3.2.1. Macroinvertébrés benthiques identifiés en saison sèche

Au total, 113 spécimens de macroinvertébrés benthiques ont été recensés pendant la saison sèche (Tableau 3). Ils se répartissent en 2 classes (Insectes et Clitellates), 5 ordres (Coléoptères, Hémiptères, Diptères, Odonates et Haplotaxides) et 8 familles : Hydrophilidae, Dytiscidae, Nepidae, Naucoridae,

Chironomidae, Libellulidae, Lumbricidae et Tubificidae.

Tableau III : Liste des macroinvertébrés benthiques de la rivière Bibwa récoltés en saison sèche. Nota= I : Station I ; II : Station II ; III : Station III ; IV : Station IV et V : Station V

Classes	Ordres	Familles	I	II	III	IV	V	Total
Insectes	Coléoptères	Hydrophilidae	1	0	1	0	6	8
		Dytiscidae	0	2	5	2	1	10
	Hémiptères	Nepidae	2	7	10	3	6	28
		Naucoridae	1	0	2	4	2	9
	Diptères	Chironomidae	0	4	1	3	5	13
Odonates	Libellulidae	3	8	4	2	5	22	
Clitellates	Haplotaxides	Lumbricidae	7	4	0	2	1	14
		Tubificidae	1	3	1	4	0	9
Total			15	28	24	20	26	113

Cent treize (113) spécimens de macroinvertébrés benthiques ont été récoltés en saison sèche dans la rivière Bibwa. Ces organismes appartiennent à 2 classes, 5 ordres et 8 familles. La présence de macroinvertébrés benthiques provenant de plusieurs ordres et familles au sein de la rivière Bibwa en saison sèche suggère une diversité écologique significative. Cette diversité peut être un indicateur de la santé de l'écosystème aquatique, car une grande variété d'espèces est unique des conditions environnementales favorables à la vie aquatique.

a) Abondance relative (%) des classes des macroinvertébrés pendant la saison sèche

La classe des insectes représente la majorité des macroinvertébrés benthiques récoltés, avec 4 soit 80% d'échantillon ordres, à savoir les Coléoptères, Hémiptères, Diptères et Odonates (figure 2). Les clitellates représentent une faible proportion, soit 20% de l'échantillon.

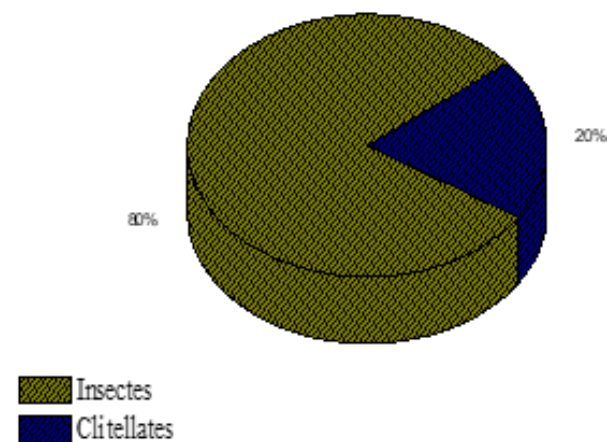


Figure 2 : Abondance relative (%) des classes des macroinvertébrés identifiés en saison sèche

b) *Abondance relative des ordres des macroinvertébrés pendant la saison sèche*

Au niveau des ordres, les Coléoptères, Hémiptères et Haplotaxides avec respectivement 25% soit deux familles à chacun sont plus représentatifs. Les ordres des Diptères et Odonates sont moins représentés avec 12,5% soit une seule famille chacun sont les moins représentés (figure 3).

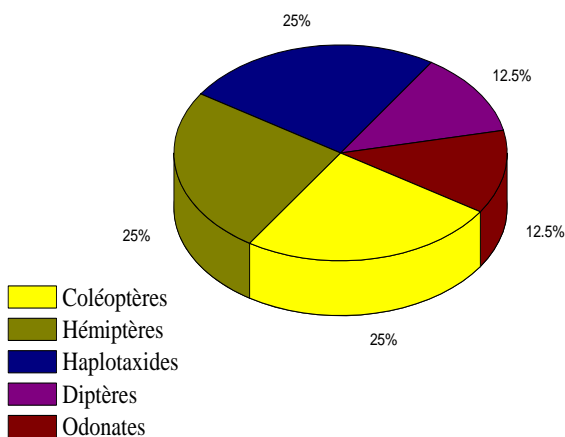


Figure 3: Abondance relative (%) des ordres des macroinvertébrés identifiés en saison sèche

c) *Fréquence numérique des familles des macroinvertébrés en saison sèche*

Les spécimens des familles des Nepidae (28 individus), Libellulidae (24 spécimens), Lumbricidae (14 individus), Chironomidae (13 individus) et Dytiscidae (10 individus) ont été fréquemment récolté et sont plus nombreux que ceux des familles de Naucoridae (9 individus), Tubificidae (9 individus) et Hydrophilidae (8 individus) (figure 4).

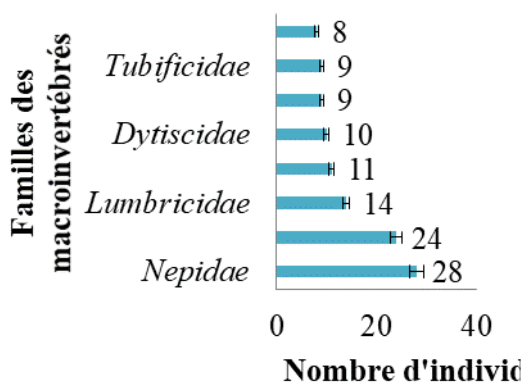


Figure 4 : Abondance relative (%) des familles des macroinvertébrés identifiés

3.2.2. *Liste des macroinvertébrés identifiés pendant la saison des pluies*

Au total, 204 spécimens de macroinvertébrés benthiques ont été capturés pendant la saison des pluies (tableau IV). Ces organismes appartiennent à 3 classes (Insectes, Mollusques et Clitellates), 6 ordres (Coléoptères, Hémiptères, Diptères, Odonates, Gastéropodes et Haplotaxides) et 10 familles (Hydrophilidae, Dytiscidae, Nepidae, Naucoridae, Chironomidae, Libellulidae, Coenagrionidae, Lymnaeidae, Lumbricidae et Tubificidae).

Tableau IV : Liste des macroinvertébrés benthiques de la rivière Bibwa récoltés en saison des pluies.

Nota= I : Station I ; II : Station II ; III : Station III ; IV : Station IV et V : Station V

Classes	Ordres	Familles	I	II	III	IV	V	Total
Insectes	Coléoptères	Hydrophilidae	0	3	1	6	1	11
		Dytiscidae	2	1	6	3	9	21
	Hémiptères	Nepidae	1	5	7	3	15	31
		Naucoridae	0	9	7	4	6	26
	Diptères	Chironomidae	0	4	1	8	1	14
	Odonates	Libellulidae	2	3	11	4	9	29
		Coenagrionidae	1	3	2	13	9	28
Mollusques	Gastéropodes	Lymnaeidae	5	0	1	0	4	10
Clitellates	Haplotaxides	Lumbricidae	3	10	0	5	1	19
		Tubificidae	0	1	5	3	6	15
		Total	14	39	41	49	61	204

Il ressort des résultats repris au tableau IV ci-dessus que deux cent quatre (204) spécimens de macroinvertébrés ont été identifiés durant la saison des pluies. Ces individus appartiennent à 3 classes, 6 ordres et 10 familles.

a) *Abondance relative des classes des macroinvertébrés identifiés pendant la saison de pluies*

L'abondance relative des classes des macroinvertébrés benthiques récoltés en saison des pluies dans la rivière Bibwa telle que reprise sur la figure 5 ci-dessous montre que la classe des insectes avec 66,7% soit 4 ordres (Coléoptères, Hémiptères, Diptères et Odonates) est la plus représentative suivie respectivement des classes des Mollusques (16,7% soit 1 ordre) et des Clitellates (16,7% soit 1 ordre Haplotaxides).

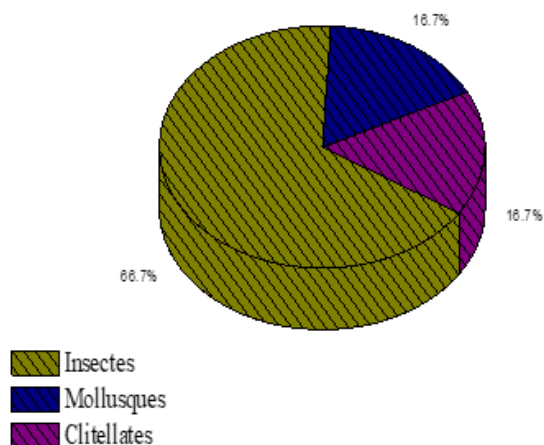


Figure 5 : Abondance relative (%) des classes des macroinvertébrés identifiés en saison pluie

b) Abondance relative des ordres des macroinvertébrés identifiés pendant la saison des pluies

Sur les six ordres des macroinvertébrés identifiés en saison des pluies, les Coléoptères, Hémiptères, Odonates et Haplotaxides avec 20% sont les plus abondants en termes des familles. Les restes des ordres sont faiblement représentés avec 10% soit avec une famille pour chacun (figure 6).

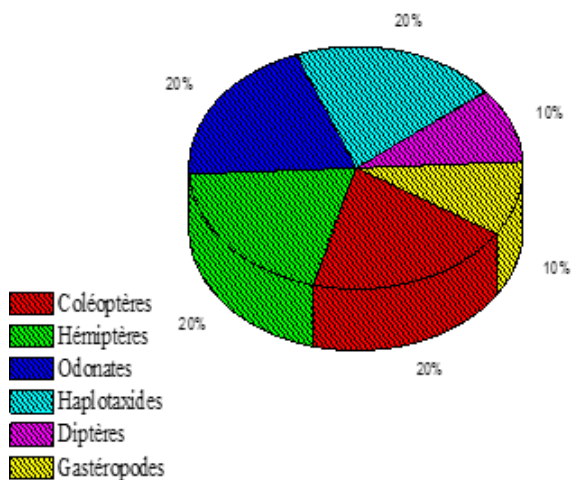


Figure 6 : Abondance relative (%) des ordres des macroinvertébrés identifiés en saison des pluies

c) Fréquence numérique des familles des macroinvertébrés identifiés pendant la saison pluies

En termes de la fréquence, les macroinvertébrés des familles des Nepidae (31 individus), Libellulidae (29 spécimens), Coenagrionidae (28 spécimens), Naucoridae (26 spécimens), Dytiscidae (21 spécimens), Lumbricidae (19 individus), Tubificidae (15 spécimens) et celle des Chironomidae (14 spécimens) sont les plus nombreux que ceux

appartenant aux familles Hydrophilidae (11 individus) et Lymnaeidae (10 spécimens) (figure 7).

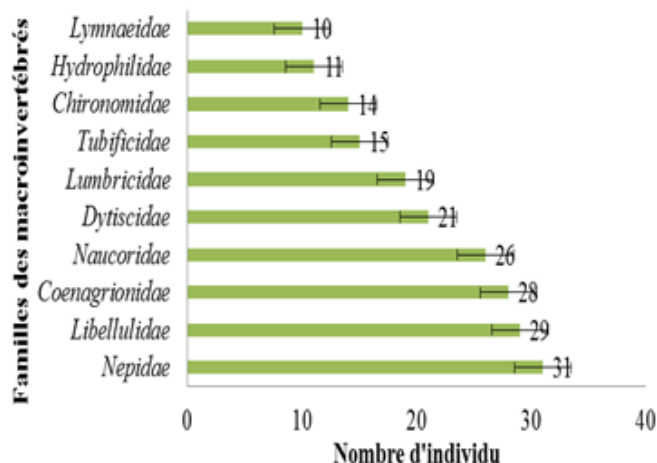


Figure 7: Fréquence numérique des familles des macroinvertébrés identifiés

3.3. Indices écologiques

Les valeurs des indices écologiques (Shannon et Weaver, équitabilité et abondance taxonomique) calculées à partir des données obtenues dans chaque station d'échantillonnage sont reprises aux Tableaux 5 et 6 respectivement pour la saison sèche et des pluies.

3.3.1. Valeurs indiciaires des stations étudiées en saison sèche

Les valeurs des indices écologiques calculées sur la base de la composition des macroinvertébrés benthiques dans cinq stations retenues le long de la rivière Bibwa sont reprises dans le tableau V.

Tableau V : Évaluation des indices écologiques sur la base des macroinvertébrés capturés dans la rivière Bibwa durant la saison sèche

Indices évalués	Station I	Station II	Station III	Station IV	Station V
Richesse taxonomique	7	6	7	7	7
Abondance brute	17	28	26	18	24
Shannon (H')	1,6	1,6	1,5	1,8	1,7
Équitabilité (J')	0,86	0,94	0,82	0,95	0,9

La faune des macroinvertébrés inventoriée durant la saison sèche dans la rivière Bibwa montre une diversité variable en fonction des sites d'échantillonnage. Les valeurs de l'abondance brute des macroinvertébrés benthiques en saison sèche varient de 17 à la station I à 28 à la station II.

L'indice de Shannon et Weaver est faiblement élevé et témoigne d'une légère diversité biologique. Les stations I et II présentent une diversité biologique de macroinvertébrés benthiques similaire avec un indice de 1,6, indiquant une stabilité relative de la diversité des espèces à ces emplacements. La station III affiche une légère baisse de l'indice (1,5), suggérant une

diminution de la diversité biologique par rapport aux stations I et II. En revanche, les stations IV et V montrent des indices plus élevés, 1,8 et 1,7 respectivement, ce qui pourrait indiquer une plus grande diversité biologique par rapport aux stations I et II.

Les stations II et IV présentent les valeurs les plus élevées d'équitabilité (0,94 et 0,95 respectivement), indiquant une répartition relativement équilibrée des abondances des espèces à ces stations. Les stations I et V affichent des valeurs intermédiaires, avec des indices compris entre 0,86 et 0,90, suggérant également une répartition relativement équilibrée des espèces, bien que légèrement moins prononcée que les stations II et IV. En revanche, la station III présente la valeur la plus basse d'équitabilité, avec un indice de 0,82, indiquant une répartition moins équilibrée des abondances pendant la saison sèche.

3.3.2. Valeurs indiciaires des stations étudiées en saison des pluies

Les valeurs des indices écologiques de la faune macrofaune inventoriée durant la saison des pluies le long de la rivière Bibwa sont reprises dans le [tableau VI](#).

Tableau VI : Valeurs d'indices écologiques basées sur les macroinvertébrés benthiques capturés durant la saison des pluies dans la rivière Bibwa

Indices évalués	Station I	Station II	Station III	Station IV	Station V
Richesse taxonomique	7	9	9	9	9
Abondance brute	15	39	41	49	60
Shannon (H)	1,7	1,9	1,9	2	1,9
Équitabilité (J')	0,9	0,89	0,87	0,93	0,9

L'abondance brute des macroinvertébrés benthiques identifiés durant la saison des pluies dans la rivière Bibwa se présente de la manière suivante : $V > IV > III > II > I$. Le maximum des spécimens a été identifié à la station V (60 spécimens) et la valeur minimale a été obtenue à la station I (15 spécimens). Les stations I, II et V présentent des valeurs relativement élevées de l'indice de Shannon, indiquant une diversité biologique significative dans ces stations pendant la saison des pluies.

Les stations prospectées présentent des valeurs élevées d'équitabilité, indiquant une répartition relativement équilibrée des abondances des espèces à ces stations pendant la saison des pluies. La station II affiche une valeur légèrement inférieure, avec un indice

de 0,89, suggérant également une répartition relativement équilibrée des abondances des espèces à cet emplacement. La station IV présente la valeur la plus élevée, avec un indice de 0,93, indiquant une répartition très équilibrée des abondances des espèces à cette station pendant la saison des pluies. En revanche, la station III affiche la valeur la plus basse d'équitabilité, avec un indice de 0,87, indiquant une répartition moins équilibrée des abondances des espèces à cette station.

Les valeurs de H' (1,5–2,0) indiquent une diversité modérée, sans différence significative entre stations selon le test de Kruskal-Wallis ($H = 5,23$, $p = 0,342$).

3.4. Analyses multivariées

3.4.1. Analyse en composantes principales (ACP) des variables environnementales

L'ACP montre que les deux premières dimensions expliquent 78,4 % de la variance totale (Dim1 : 52,3 %, Dim2 : 26,1 %). Les stations de saison des pluies (notamment la station V) se distinguent par des valeurs élevées de conductivité, turbidité et vitesse, tandis que la saison sèche est associée à des valeurs plus faibles ([figure 8](#)).

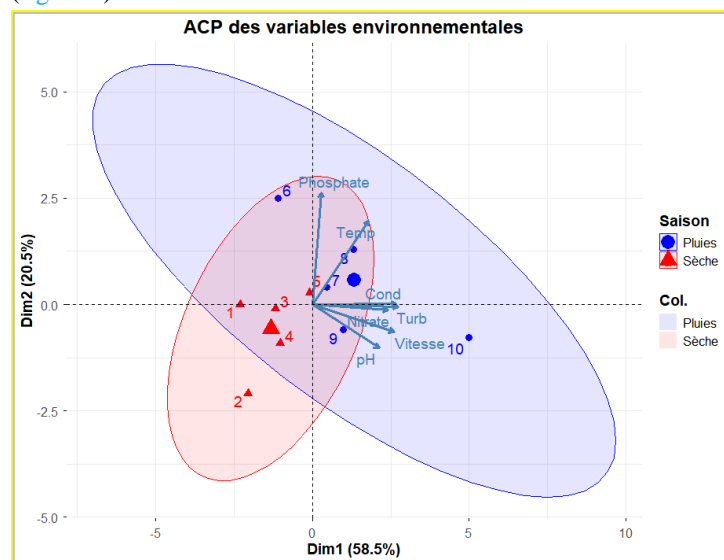


Figure 8 : ACP des variables environnementales

3.4.2. Corrélations de Spearman

Les corrélations significatives ($p < 0,05$) incluent : conductivité–turbidité ($\rho = 0,89$, $p = 0,001$), conductivité–nitrates ($\rho = 0,72$, $p = 0,018$), turbidité–vitesse ($\rho = 0,68$, $p = 0,031$) ([figure 9](#)).

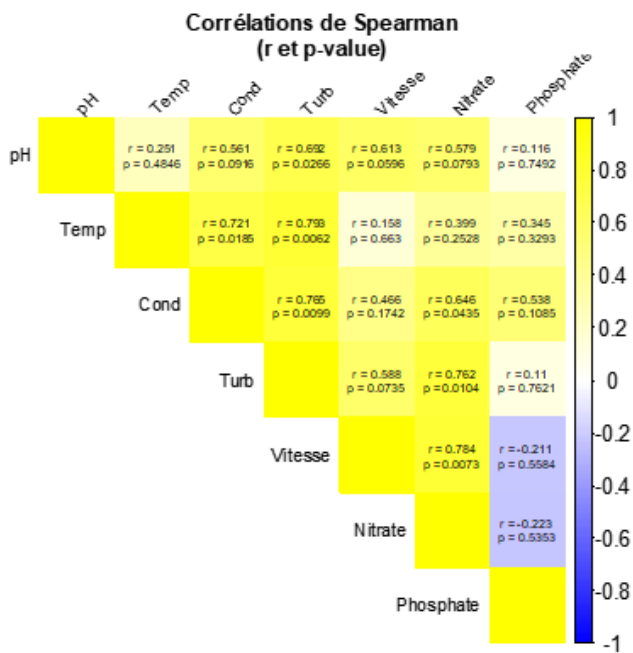


Figure 9 : Corrélation de Spearman des paramètres physico-chimiques

3.4.3. Analyse canonique des correspondances (CCA)

La CCA montre que le modèle global est significatif (pseudo-F = 3,42, p = 0,008). Le premier axe (CCA1) explique 45,2 % de la variance contrainte et est significatif (p = 0,012). La conductivité (p = 0,009) et la turbidité (p = 0,014) sont les variables les plus explicatives de la distribution des taxons. Les Chironomidae et Tubificidae sont associés aux valeurs élevées de conductivité et turbidité (stations IV et V en saison des pluies), tandis que les Nepidae et Libellulidae sont associés à des conditions moins turbides (stations amont en saison sèche) (figure 10).

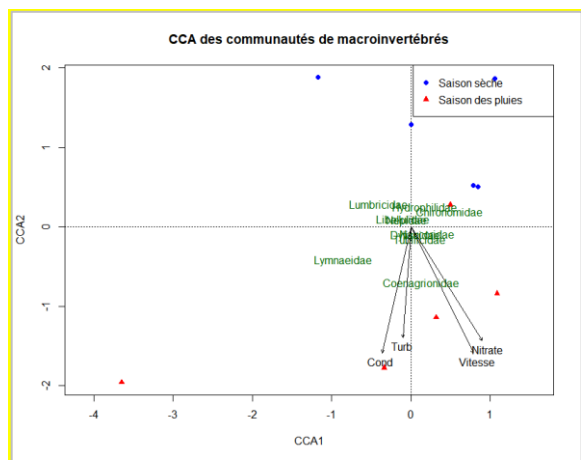


Figure 10 : CCA des communautés de macroinvertébrés

4. Discussion

4.1. Paramètres physico-chimiques et correction des données hydrologiques

Après correction des unités de vitesse d'écoulement (passage de m/s à cm/s), les valeurs obtenues (14–46 cm/s) sont cohérentes avec les données rapportées pour les rivières tropicales de taille similaire (Jacobsen et al., 2008). Les valeurs de pH (4,3–6,4) indiquent une eau légèrement acide, caractéristique des eaux de surface tropicales en milieu forestier (Beaux, 1998). La valeur moyenne du pH à la station V, mesurée à 6,4±0,13 pendant la saison des pluies, indique une neutralité des eaux. Ces valeurs proches de la neutralité sont caractéristiques de la majorité des eaux de surface et par conséquent n'indiquent ni pollution acide ni pollution basique des eaux de la rivière.

Elles traduisent selon la grille de Beaux (1998) des eaux de bonne qualité et surtout pour l'aquaculture. Cette observation pourrait être attribuée à la présence abondante de macrophytes (Atanle, 2012). Un pH élevé peut rendre l'azote ammoniacal (NH₄⁺) toxique, tandis qu'un pH inférieur à 8 réduit son impact sur la faune et la flore aquatiques (Hade, 2002). Les valeurs de pH de la rivière Bibwa en saisons sèche et des pluies suggèrent la nécessité d'une surveillance continue de la qualité de l'eau et d'actions potentielles pour préserver la santé de l'écosystème aquatique.

Les moyennes de températures de l'eau de la rivière Bibwa aux stations d'échantillonnage ont varié de 24,7±0,24°C à 26,1±0,28°C. Ces résultats corroborent les travaux conduits par Mbega (2004) ; Mary & Hytec (2007) qui ont montré que la température moyenne des cours d'eau forestiers est comprise entre 21 et 27°C. Elles sont proches de celles obtenues par Detay (1997), qui confirme que la plupart des eaux tropicales ont une température supérieure ou égale à 25°C. La forte valeur de la température observée serait due à l'absence de végétation qui caractérise ces stations, exposant ainsi leurs eaux directement aux rayonnements solaires (Munganga et al., 2020). Cette tendance est similaire à celle rapportée par Olayinka et al. (2013) dans la rivière Ogun au Nigéria et par Koudenoukpo et al. (2017) dans la rivière Sô au Bénin.

La conductivité électrique est un indicateur clé de la concentration en ions dans l'eau, permettant d'évaluer le niveau de minéralisation (Berryman, 2006). Les faibles valeurs de conductivité (2,66–48,66 µS/cm) suggèrent une minéralisation faible,

comparable à celles observées par Mbega (2004) dans le lac Avanga (37,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$). L'augmentation significative de la conductivité et de la turbidité entre la saison sèche et la saison des pluies ($p < 0,01$) confirme l'effet des précipitations sur le lessivage des sols et l'apport de matière en suspension. Dans cette étude, les mesures de conductivité sont restées en dessous du seuil critique de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ce qui suggère que la minéralisation est principalement influencée par les affluents environnants et les activités d'extraction situées en amont (Dibong & Ndjouondo, 2014). Ces faibles conductivités pourraient s'expliquer par le fait que ces stations sont en zone forestière où le renouvellement permanent des eaux peut ne pas permettre aux éléments nutritifs issus du lessivage des sols de se concentrer (Nouayti et al., 2015). Une conductivité dépassant 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ est généralement considérée comme problématique pour l'irrigation, car elle peut nuire au développement des organismes aquatiques et perturber les équilibres chimiques (Barnabe & Barnabe, 2000). Ainsi, l'eau de la rivière Bibwa semble être adaptée à l'irrigation des cultures maraîchères, souvent cultivées le long de son cours.

Les concentrations de nitrates (2,01–4,18 mg/L) et phosphates (0,2–0,4 mg/L) sont modérées. Les nitrates sont présents à l'état naturel et, étant solubles dans le sol, ils pénètrent dans le sol et les eaux souterraines et se déversent dans les cours d'eau. Cependant, ils sont aussi apportés de manière synthétique par les engrais (Chapman & Kimstach, 1996) et constituent l'un des facteurs de la dégradation de la qualité de l'eau. À la station V, la concentration moyenne de nitrate est de $4,18 \pm 0,46$ mg/L. Bien que cette valeur reste inférieure aux seuils de toxicité aiguë pour les organismes aquatiques (Chapman & Kimstach, 1996), l'augmentation des nitrates à cette station en saison des pluies pourrait refléter des apports diffus liés aux activités agricoles (Makhoukh et al., 2011). Des apports directs par l'activité agricole (apports fertilisants de nitrates, d'ammoniacale, ou d'apports organiques type fumier et lisier) contribuent aussi de façon importante aux quantités de nitrates relevées dans les cours d'eau (Munganga et al., 2020). Selon Barroin et al. (1991), les nitrates ne présentent aucune toxicité pour la vie animale dans les milieux aquatiques. En revanche, la forme ammoniacale des nitrates peut entraîner de graves intoxications lorsque la capacité d'oxydation du milieu est saturée. De plus, lorsque le pH atteint des valeurs élevées, cela favorise

la présence de l'ammoniac non dissocié, qui est particulièrement toxique. Le rôle des éléments azotés et phosphorés dans le contrôle de la production aquatique a été souligné par plusieurs études (Mama et al., 2011 ; Tchakonté et al., 2014 ; Zinsou et al., 2016). Il est crucial de surveiller ces éléments, car ils représentent de grands facteurs d'eutrophisation des cours d'eau et des plans d'eau.

4.2. Structure des communautés de macroinvertébrés

La récolte des macroinvertébrés a été faite en deux saisons (sèche et pluies) dans la rivière Bibwa. L'échantillonnage a fourni un total de 317 spécimens de macroinvertébrés dont 204 en saison des pluies et 113 en saison sèche, répartis en 3 classes, 6 ordres et 10 familles. D'une manière générale, la rivière Bibwa est diversifiée malgré les multiples activités dues à sa proximité avec la ville de Kinshasa. La forte abondance de la macrofaune benthique observée pourrait s'expliquer par la période de collecte ou par l'environnement forestier des sites. Mary (2011) indique que plusieurs taxons sont plus abondants en saison sèche, lors de régimes hydrologiques stables. Par ailleurs, les cours d'eau forestiers favorisent le développement de la macrofaune benthique (Mary, 1999). Bien que nos résultats ne confirment pas totalement cette hypothèse, la plus grande abondance de macroinvertébrés benthiques observée pendant la saison des pluies peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Les précipitations abondantes augmentent le débit et le niveau de l'eau, créant davantage de microhabitats favorables et enrichissant le milieu en matière organique. Ces conditions offrent un environnement propice à la reproduction et au développement des macroinvertébrés. De plus, l'effort de pêche ciblé durant cette saison, combiné à une meilleure accessibilité des sites, a probablement favorisé une capture plus élevée.

L'abondance totale (317 spécimens) est inférieure à celle rapportée par Munganga et al. (2020) dans la rivière Musolo (810 individus) et par Kamb (2013) dans la rivière Lukunga (1 375 individus). Ces deux rivières, situées dans la province de Kinshasa, présentent donc une abondance plus élevée que celle observée dans la rivière Bibwa. Cette différence pourrait s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la méthodologie d'échantillonnage utilisée, la période de collecte des échantillons, ainsi que les caractéristiques topographiques et géographiques propres à notre zone d'étude.

Malgré cette variation en termes d'abondance, les familles de macroinvertébrés benthiques identifiées dans notre travail sont globalement similaires à celles rapportées dans d'autres études menées en Afrique centrale, comme celle de [Cubaka et al. \(2019\)](#). Cela suggère une certaine homogénéité taxonomique régionale malgré les différences quantitatives.

Par ailleurs, la richesse taxonomique observée dans la rivière Bibwa à Kinshasa est inférieure à celle décrite dans diverses rivières d'Afrique de l'Ouest. Par exemple, [Gouissi et al. \(2020\)](#) ont identifié 26 familles dans la rivière Mékrou au Bénin, [Samon et al. \(2019\)](#) ont recensé 49 familles dans la rivière Affon, tandis qu'[Agblonon et al. \(2017\)](#) ont observé 42 familles dans la rivière Alibori, également au Bénin. Cette différence notable dans la diversité taxonomique pourrait s'expliquer par plusieurs paramètres environnementaux tels que la qualité de l'eau, la disponibilité des habitats, la température, le débit, ainsi que d'autres facteurs physico-chimiques qui influencent la composition des communautés biologiques. De plus, des variations dans les techniques d'échantillonnage ou les périodes de collecte pourraient également contribuer à ces différences observées.

En examinant les classes de macroinvertébrés benthiques échantillonnées, nous avons constaté que la classe des insectes est la plus abondante en nombre de spécimens (66,7–80 %), conformément à la littérature sur les rivières tropicales ([Alhou et al., 2009](#) ; [Mumbanga et al., 2025](#)). Cette abondance peut indiquer une bonne qualité de l'eau, car les insectes sont généralement sensibles à la pollution et à d'autres perturbations environnementales. Leur présence en grand nombre suggère un écosystème relativement sain et équilibré. Cette affirmation coïncide avec les études d'[Alhou et al. \(2009\)](#) ; [Munganga et al. \(2020\)](#) ; [Mumbanga et al. \(2025\)](#) sur la prédominance de la classe des insectes dans les milieux aquatiques. La présence en grand nombre des insectes pourrait être due à l'apport régulier de matières organiques provenant des activités agricoles et des porcheries situées le long de cette rivière et des habitations se trouvant d'un côté et de l'autre ([Munganga et al., 2020](#)). Les résultats concernant l'abondance des insectes dans la rivière Bibwa confirment également plusieurs études antérieures qui ont démontré la prédominance des insectes dans les milieux aquatiques ([WCMC, 1992](#) ; [Mboye, 2009, 2012, 2014](#)). L'abondance relative des groupes faunistiques varie considérablement d'une station à l'autre. Ces variations spatiales pourraient être attribuées aux diverses influences que subissent les

milieux et aussi à la nature des différents habitats et la disponibilité des ressources.

L'absence de taxons EPT (Éphéméroptères, Plécoptères, Trichoptères), sensibles à la pollution, constitue un signal d'alerte écologique ([Rosenberg & Resh, 1993](#)). La présence des Chironomidae et des Tubificidae, taxons polluo-tolérants, entre les saisons de récolte serait due à la forte présence de la matière organique au niveau des stations urbaines II, III, IV et V. Ces observations corroborent celles d'[Ikomi & Arimoro \(2014\)](#) ; [Olomukoro & Dirisu \(2014\)](#) au Nigéria. Ces auteurs notifient que la présence des Chironomidae et des oligochètes est caractéristique des rivières polluées par la matière organique. La perturbation des stations urbaines de la rivière Bibwa par les déchets issus des activités anthropiques affecte le peuplement des macroinvertébrés et favorise la multiplication des Chironomidae et des Oligochètes au détriment des familles des Éphéméroptères, Plécoptères et Trichoptères. Les hydrosystèmes étudiés dans la ville de Kinshasa ainsi que ceux étudiés dans d'autres grandes villes africaines subissent des pressions anthropiques par le rejet des effluents de diverses natures. Ce constat a également été fait par [Gire \(2001\)](#) au Burkina Faso. Ces rejets polluent ces écosystèmes aquatiques et présentent des effets néfastes pour la vie des communautés des macroinvertébrés benthiques ([Davis et al., 2011](#)). Les produits chimiques relâchés dans l'environnement, que ce soit par des processus naturels ou par des activités humaines, peuvent infiltrer les écosystèmes aquatiques et se lier aux matières en suspension. Cela constitue un risque majeur pour les organismes aquatiques ([Noumon et al., 2015](#)).

4.3. Analyses statistiques et interprétation écologique

Le test de Kruskal-Wallis a montré une différence significative de la conductivité et de la turbidité entre saisons ($p < 0,01$), confirmant l'effet des précipitations sur le lessivage des sols et l'apport de matière en suspension. Les corrélations de Spearman ont mis en évidence des associations fortes entre conductivité, turbidité et nitrates ($\rho \geq 0,68$, $p < 0,05$), suggérant une origine commune (apports anthropiques diffus).

La CCA a permis d'identifier la conductivité ($p = 0,009$) et la turbidité ($p = 0,014$) comme les principaux facteurs structurant les communautés de macroinvertébrés. Les Chironomidae et Tubificidae sont associés aux stations aval (IV et V) en saison des pluies, caractérisées par une conductivité et une turbidité plus élevée. À l'inverse, les Nepidae et Libellulidae sont plus abondants dans les stations

amont (I–III) en saison sèche, où ces paramètres sont plus faibles.

Les indices de diversité jouent un rôle essentiel dans l'évaluation de la santé écologique des écosystèmes aquatiques. Ils permettent de mesurer la richesse et l'équilibre des communautés biologiques, fournissant ainsi des indications précieuses sur le degré de perturbation ou de stabilité de ces milieux. Selon Lobry et al. (2003), ces indices constituent des outils clés pour diagnostiquer l'état écologique et guider les actions de gestion environnementale. L'indice de Shannon a montré une diversité qui varie entre 1,5 et 2,0. La diversité la plus élevée a été notée dans la station V avec sa richesse taxonomique plus élevée, suivie de la station IV, et la faible diversité étant celle de la station I. Ces valeurs, étant proches de la valeur maximale théorique H'_{max} , indiquent une diversité biologique modérée. Par conséquent, elles reflètent une qualité écologique relativement acceptable des milieux concernés.

En effet, un indice de Shannon élevé traduit généralement un écosystème plus équilibré et moins perturbé, ce qui est un signe positif pour l'appréciation écologique des stations analysées. Les différences de l'indice de Shannon peuvent s'expliquer par l'effet des facteurs environnementaux qui varient d'une station à l'autre. Certains d'entre eux, comme la nature du substrat, la vitesse du courant, la hauteur de l'eau, sont habituellement considérés comme des facteurs écologiques susceptibles d'influencer directement la répartition de la faune benthique et ce qui va affecter la richesse de chaque station (Evrard, 1996). La faible diversité observée pourrait également s'expliquer par la qualité de l'échantillonnage ainsi que par l'impact indirect de l'exploitation forestière à proximité (Ahounsou, 2011).

Par ailleurs, les très faibles indices d'équitabilité relevés aux stations I et III ($J' < 0,86$) indiquent un peuplement déséquilibré dans ces zones. En revanche, d'autres stations présentent un peuplement équilibré avec des indices d'équitabilité supérieurs à 0,90. Selon Death (1995) ; Massolou (2008, 2010), la stabilité des habitats et les interactions biotiques jouent un rôle clé dans la structuration des communautés de macroinvertébrés, qui tendent à être plus abondantes dans les sites stables comparativement aux sites instables.

4.4. Implications pour la gestion et perspectives

Les résultats de cette étude suggèrent que la rivière Bibwa présente des signes de perturbation anthropique modérée. Il est recommandé :

- De renforcer la surveillance de la qualité de l'eau, notamment par l'ajout de paramètres comme l'oxygène dissous et la demande biologique en oxygène (DBOs).
- De mettre en place des mesures de gestion des rejets domestiques et agricoles, en particulier dans les zones aval (stations IV et V).
- De réaliser des études complémentaires avec une résolution taxonomique plus fine (identification au genre ou à l'espèce) pour permettre l'utilisation d'indices biotiques standardisés.

5. Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'analyser la structure et la composition des populations des macroinvertébrés benthiques dans la rivière Bibwa à Kinshasa, en République Démocratique du Congo, en relation avec les variables abiotiques. Elle a permis entre autres de caractériser la qualité physico-chimique des eaux de cette rivière à travers quelques paramètres physiques et chimiques. Les principaux résultats montrent : Une diversité modérée ($H' = 1,5-2,0$) et une dominance des insectes (66,7–80 %). Une différenciation significative des communautés entre saisons, expliquée principalement par la conductivité et la turbidité (CCA, $p = 0,008$).

L'absence de taxons EPT (Éphéméroptères, Plécoptères, Trichoptères) et la présence de taxons polluo-tolérants (Chironomidae, Tubificidae) suggèrent une perturbation anthropique modérée. Au total, 317 spécimens de macroinvertébrés benthiques répartis en 3 classes (Insectes, Mollusques et Clitellates), 6 ordres (Coléoptères, Hémiptères, Diptères, Odonates, Gastéropodes et Haplotaxides) et 10 familles (Hydrophilidae, Dytiscidae, Nepidae, Naucoridae, Chironomidae, Coenagrionidae, Libellulidae, Lymnaeidae, Lumbricidae et Tubificidae) ont été inventoriés dans cette rivière pendant les deux saisons.

Les paramètres physico-chimiques conditionnent la vie dans le milieu aquatique. De manière générale, ces eaux ont été acides, à faible conductivité et concentration en ions majeurs dans l'ensemble des stations échantillonnées. La rivière Bibwa présente une qualité écologique modérément perturbée, nécessitant

des mesures de gestion pour prévenir une dégradation supplémentaire. Des études complémentaires avec une résolution taxonomique plus fine et incluant un plus grand nombre de paramètres environnementaux (oxygène dissous, DBO₅, matières en suspension) sont nécessaires pour affiner le diagnostic écologique et permettre l'utilisation d'indices biotiques standardisés.

Remerciements

Les auteurs remercient Madame NZULU Bonhomie pour sa disponibilité et sa participation lors de la collecte des données sur le terrain dans le cadre de cette étude.

Financement

La recherche a été conduite avec les moyens propres des auteurs et n'a pas bénéficié d'un financement d'une personne morale ou physique.

Conflit d'Intérêt

Aucun conflit d'intérêt à signaler dans le cadre de cette étude.

Considérations éthiques

La réalisation de cette étude a bénéficié des autorisations de recherche par les autorités de l'Université de Kinshasa ainsi que les autorités politico-administratives de la commune de la N'sele dans la ville de Kinshasa. Les spécimens des macros invertébrés ont été collectés, conservés et traités suivant les normes.

Contribution des auteurs

M.K.C. : A participé à la conception de la recherche, collecte et l'analyse des données, rédaction et révision du manuscrit.

L.S.W. : A participé à la collecte et l'analyse des données, rédaction et révision du manuscrit.

K.M.S. : A participé à la collecte, l'analyse des données et la révision du manuscrit.

T.M.J. : A participé à la révision du manuscrit.

M.M.M.J. : A participé à la révision du manuscrit.

P.K.V. : A participé à la conception de la recherche, la rédaction et la révision du manuscrit.

ORCID des Auteurs

Munganga K.C. : <https://orcid.org/0009-0001-1909-5674>

Lusasi S.W. : <https://orcid.org/0000-0002-2526-7903>

Kavumbu M.S. : <https://orcid.org/0009-0008-4285-7877>

Tembeni M.J.: <https://orcid.org/0009-0007-0089-8112>

Pwema K.V.: <https://orcid.org/0009-0002-2355-1668>

Références bibliographiques

- Agblonon T.M.A., Adadedjan D., Chikou A., Imorou Toko I., Koudenoukpo C.Z., Youssao I. & Laleye P. (2017). Inventaire et caractéristiques faunistiques des macroinvertébrés de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 21: 433 – 448.
- Ahouansou Montcho S. (2011). *Diversité et exploitation des poissons de la rivière Pendjari (Bénin, Afrique de l'Ouest)*. [Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 241 p].
- Akatumbila L.A. (2020). *Analyse de la variation saisonnière des caractéristiques physico-chimiques, des macroinvertébrés et de la flore algale benthique des rivières Limbimi et Gombe à Kinshasa*. [Thèse de Doctorat en Sciences et Gestion de l'Environnement, Université de Kinshasa, RD Congo, 178 p].
- Allan, J.D. (2004). Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35(1): 257–284.
- Alhou B., Micha J.C., Dodo A. & Awais A. (2009). Étude de la qualité physicochimique et biologique des eaux du fleuve Niger à Niamey. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 3: 240-254.
- Atanle K., Moctar L., Bawa K. & Gbandi D.B. (2012). La caractérisation physicochimique et diversité phytoplanktonique des eaux du lac de Zowla (Lac Boko), au Togo. *J. Appl. Bio. Sci.*, 64 : 4847 - 4857.
- Barnabe G. & Barnabe-Quet R. (2000). Ecology and Management of Coastal Waters: *The Aquatic Environment*. Springer: UK.
- Barroin G. (1991). La pollution par les phosphates. Ademart, Station d'hydrobiologie lacustre INRA. Thonon les Bains, France.
- Beaux J.F. (1998). *L'environnement*, Repères pratiques. Nathan, 160 p.
- Berryman D. (2006). Établir des critères de qualité de l'eau et des valeurs de référence pour le phosphore, selon les écorégions. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.
- Bredenhard D. & Samways M. (2009). Impact of a dam on benthic macro invertebrates in a small river in a

- biodiversity hotspot: cape floristic région. *Journal of Insect Conservation*, 13(3) : 297-307.
- Brusle J. & Quignard J.P. (2004). *Les poissons et leur environnement, écophysiologie et comportements adaptatifs*. Ed. TEC & DOC. Londres-Paris-New York, 1522 p.
- Burgis J.M. & Symoens J.J. (1987). *Zones humides et les lacs peu profonds d'Afrique*. ORSTOM, Vol. 211, Paris, 560 p.
- Chapman D. & Kimstach V. (1996). Selection of water quality variables. In: *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring*. E & FN Spon.
- Cubaka K.A., Cirimwami B.L., Bora U.H, Lwambo K.J. & Baguma B.G. (2019). Premiers inventaires de la diversité des macroinvertébrés aquatiques du lac Vert, Goma/Nord-Kivu, République Démocratique du Congo. *Journal of Applied Biosciences*, 140: 14268 – 14280.
- Davis A.M, Thorburn P.J., Lewis S.E., Bainbridge Z.T., Attard S.J., Milla R. & Brodie J.E. (2011). Environmental impacts of irrigated sugarcane production: Herbicide run-off dynamics from farms and associated drainage systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144(1), 334 - 341.
- Death R.G. (1995). Spatial patterns in benthic invertebrate community structure: Products of habitat stability or are they habitat specific? *Freshwater Biology*, 33, 455 - 467.
- Dejoux C. (1983). *Diptères*. In *Durand & Lévêque (1981). Flore et Faune Aquatiques de l'Afrique Sahélo-soudanienne*. Tome II. Hydrobiologie Eds. O.R.E.S.T.O.M.I.D.T.
- Dibong S.D. & Ndjouondo G.P. (2014). Inventaire floristique et écologie des macrophytes aquatiques de la rivière Kambo à Douala (Cameroun). *J. Appl. BioSci.*, 80 : 7147 -7160.
- Durand J.R. & Lévêque C. (1981). *Flore et faune aquatique de l'Afrique Sahélo-soudanienne* (Tome II). Paris, France: ORSTOM, 483 p.
- Evrard M. (1996). *Utilisation des exuvies nymphales de Chironomidae (Diptera) en tant qu'indicateurs biologiques de la qualité des eaux de surface wallonnes*. [Thèse de Doctorat, Facultés Universitaires Notre Dame de la Paix (Belgique).
- Gire (2001). Rapport sur la qualité des eaux au Burkina Faso].
- Gouissi F.M., Abahi K.S., Adje D.D., Gbénu W.A. & Gnohossou M.P. (2020). Macroinvertebrate communities of Mékrou River in Benin and their relationship with environmental factors. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 8, 654–661.
- Gravel D., Gounand I., Mouquet N. (2009). Le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des écosystèmes, 83 p.
- Hade A. (2002). Qualité de l'eau et santé des écosystèmes aquatiques.
- Ikomi R.B. & Arimoro F.O. (2014). Effects of recreational activities on the littoral macroinvertebrates of Ethiopie River, Niger Delta, Nigeria. *Journal of Aquatic Sciences*, 29, 155–170.
- Jacobsen, D., Schultz, R., & Encalada, A. (2008). Structure and diversity of stream invertebrate assemblages in Andean streams. *Freshwater Biology*, 53, 2076–2090.
- Kamb T. J-C. (2018). *Structure des peuplements des macroinvertébrés benthiques et évaluation de la qualité biologique et écologique des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge à Kinshasa/RD Congo*. [Thèse de Doctorat, UPN, 230 p].
- Kamb T.J.C, Ifuta N.S., Mbaya N.A., Pwema K.V. (2015). Influence du substrat sur la répartition des macroinvertébrés benthiques dans un système lotique : cas des rivières Gombe, Kinkusa et Mangengenge. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9(2), 970-985.
- Kamb T.J-C. (2013). *Étude de la structure et de la dynamique des peuplements des Macroinvertébrés benthiques d'un système lotique : Cas de la rivière Lukunga Kinshasa / R.D.Congo*. [Mémoire de DEA].
- Kamulondola, M., & Tshopamba, T. (2018). Biodiversité aquatique et pressions anthropiques dans les rivières du bassin du Congo. *Revue Africaine des Sciences de l'Environnement*, 12(2) : 45–58.
- Kasangaki, A., Chapman, L. J., & Balirwa, J. (2008). Land use and the ecology of benthic macroinvertebrates in tropical streams. *African Journal of Ecology*, 46(2), 109–119.
- Koudenoukpo Z.C., Youssao I. & Laleye P. (2017). Inventaire et caractéristiques faunistiques des macroinvertébrés de la rivière Alibori dans le bassin cotonnier du Bénin. *Int. J. Innov. Appl. Stud.*, 21(3) : 433 – 448.
- Legendre L. & Legendre P. (1984). *Écologie numérique. Tome 2 : La structure des données écologiques*. Masson, Paris.

- Lobry J., Gascuel D. & Domain F. (2003). La biodiversité spécifique des ressources démersales du plateau continental guinéen : utilisation d'indice classique pour un diagnostic sur l'évolution des écosystèmes. *Aquatic Living Resources*, 16 : 59-68.
- Loleko B. (2004). *Projet de réhabilitation du parc de la N'sele*. [Mémoire de fin d'étude GRN/Faculté des Sciences Agronomiques/UNIKIN, inédit, 56 p].
- Makhoukh M., Sbaa M., Berthoud A., Clooster V.M. (2011). Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya (Maroc oriental). *Larhyss J.*, 9 : 149 - 169.
- Mama D., Chouti W., Alassane A., Changotade O., Alapini F. & Boukari M. (2011). Étude dynamique des apports en éléments majeurs et nutritifs des eaux de la lagune de Porto-Novo (Sud-Bénin). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(3) : 1278 - 1293.
- Mary N. (1999). *Caractéristiques physicochimiques et biologiques des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie, proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés benthiques*. [Thèse de doctorat, Université Française du Pacifique, Nouméa, Nouvelle-Calédonie, 181 p + annexes].
- Mary N. (2010). L'indice Biotique de la Nouvelle Calédonie (IBNC) et l'Indice Biosédimentaire (IBS). *Guide Méthodologique et Technique*, 58 p.
- Mary N. (2011). L'indice Biotique de la Nouvelle Calédonie (IBNC) et l'Indice Biosédimentaire (IBS). *Guide Méthodologique et Technique*, 58 p.
- Mary N. & Hytec. (2007). Mise en place d'un indice biologique spécifique aux terrains miniers en Nouvelle-Calédonie. Province Sud, Province Nord, DAVAR, Nouvelle-Calédonie. Rapport de mission, 120 p.
- Massolou A.M. (2008). *Diagnostic écologique des cours d'eau forestiers par la caractérisation des macroinvertébrés benthiques dans la forêt classée de la Mondah*. [Mémoire de fin de cycle pour le Diplôme d'ingénieur de conception des Eaux et Forêts. École Nationale des Eaux et Forêts, 56 p].
- Massolou A.M. (2010). *Utilisation des traits bioécologiques des macroinvertébrés comme outils complémentaires à l'indice Biologique global Normalisé pour l'évaluation des risques de pollution des écosystèmes aquatiques*. [Master II Recherche Université de Montpellier 2, France, 77 p].
- Mbega J.D. (2004). Biodiversité des poissons du bassin inférieur de l'Ogooué (Gabon). Thèse de doctorat, Université de Namur, 614 p.
- Mboye B. (2009). *Contribution à la caractérisation de peuplements de Macroinvertébrés afin d'établir la faisabilité d'indicateur de suivi de perturbation des milieux dans deux écosystèmes aquatiques aux environs de Libreville*. [Mémoire de Master II. Faculté des Sciences, Université de Montpellier 2, France, 23 p].
- Mboye B. (2012). *Inventaire de la plaine Wanga*. Rapport de mission, Libreville, 12 p.
- Mboye B. (2014). *Étude préliminaire du bassin de l'Ivindo*. Rapport de mission, Libreville, 16 p.
- Moisan, J. (2010). Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat meuble. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN 978-550-58416-2, 82 p.
- Moisan J. & Pelletier L. (2011). Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec, Cours d'eau peu profonds à substrat meuble. Direction du suivi de l'état de l'environnement, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, ISBN : 978-2-550-61166-0 (PDF), 39 p.
- Mumbanga N.L., Munganga K.C., Lusasi S.W., Nsimanda I.C. & Pwema K.V. (2025). Qualité de l'eau et diversité des macroinvertébrés benthiques de la rivière Nzinda dans la ville de Kikwit, République Démocratique du Congo. *Rev. Cong. Sci. Technol.*, 04(03), 350–367.
- Munganga K.C., Lusasi S.W. & Pwema K.V. (2020). Évaluation de la qualité écologique de la rivière Musolo à Kinshasa : Basée sur les macroinvertébrés benthiques en République Démocratique du Congo. Éditions Universitaires Européennes, Riga: Latvia, ISBN: 978-613-8-9503-1, 96 p.
- Mutonkole S.P., Tshitenge M.J.-M. & Masamba L.N. (2015). *Benthic macroinvertebrates as indicators of water quality: A case-study of urban Funa stream (in Kinshasa, Democratic Republic of Congo)*.
- Nouayti N., Khattach D. & Hilali M. (2015). Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du Jurassique de haut bassin de Ziz (Haut Atlas central, Maroc). *J. Mater. Environ. Sci.*, 6(4) : 1068-1081.
- Noumon C.J., Mama D., Dedjiho C.A., Agbossou E. & Ibouma S. (2015). Évaluation de la qualité physico-chimique et du risque d'eutrophisation de la retenue d'eau de Kogbéhouè (Sud-Bénin). *Journal of Applied Biosciences*, 85: 7848 - 7861.

- Olayinka O.O., Adedeji O.H. & Oladeru I.B. (2013). Water Quality and Bacteriological Assessment of Slaughterhouse Effluent on Urban River in Nigeria. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 8: 277 – 286.
- Olomukoro J.O. & Dirisu A.-R. (2014). Macroinvertebrate community and pollution tolerance index in Edion and Omodo Rivers in derived savannah wetlands in Southern Nigeria. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 147: 1 – 6.
- Pwema K.V., Nakweti K.J., Kavumbu M.S., Munganga K.C., Lusasi S.W., Tembeni M.J., Mapasi M.T. & Mbomba B.N. (2020). Endoparasites humains présents dans les tubes digestifs de deux espèces de poissons Cichlidae : *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) et *Tilapia tholloni* (Sauvage, 1884) pêchés dans le Pool Malebo (fleuve Congo), R.D Congo. *Agricultural Science*, 2(2): 129 - 140.
- R Core Team (2023). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rosenberg D.M. & Resh V.H. (1993). Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates. Chapman & Hall.
- Samon O.S., Gouissi F.M., Adje D.D., Abahi K.S., Tchaou C.M., Okoya J.G.A., Orou Piami Z., Gnohossou M.P., Omoniyi G. & Piscart C. (2019). Abundance and distribution of macroinvertebrates of the Affon River, Bénin. *Open Journal of Marine Science*, 9: 173-188.
- Sisa M.E., Kamb T.J.C., Pwema K.V., Mutambel H.D & Bunda P.M.N. (2022). Structure of Odonata populations in the riparian strips of the Bumbu River watershed in Kinshasa/RD Congo. *International Journal of Science and Research Archive*, 06(1): 028 – 039.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P. (2010). *Invertébrés d'eau douce - Systématique, biologie, écologie*. CNRS Éditions, Paris.
- Tchakonté S., Ajeegah G.A., Diomande D., Camara A.I., Idrissa K.K.M. & Ngassam P. (2014). Impact of anthropogenic activities on water quality and freshwater shrimp's diversity and distribution in five rivers in Douala, Cameroon. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4: 183–194.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., & Cushing, C. E. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(1): 130–137.
- WCMC (World Conservation Monitoring Centre) (1992). *Global Biodiversity. Status of the Earth's living resources*. Chapman and Hall (Londres), 585 p.
- Zinsou H.L., Gnohossou P., Adandedjan D. & Laleye P. (2016). Profil de distribution des macroinvertébrés benthiques du delta de l'Ouémé à partir du Self Organizing Map (SOM). *Afrique Science : Revue Internationale des Sciences et Technologie*, 12 : 224–236.