Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2026 ; 9(2), 262-272
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Évaluation physico-chimique et bio-indicatrice de la rivière Bitshaku-Tshaku à Kinshasa (République Démocratique du Congo) via les macro-invertébrés benthiques

Deogratias Mikomo Kampwini*[1], Emmanuel Biey Makaly[2,3], Jean-Claude Kamb Tshijik [2], Victor Pwema Kiamfu[1], Edouard Sisa Mbungu[1]

[(1)]Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Sciences et Gestions de l'Environnement. BP 190 Kinshasa XI (RDC). E-mail : deomikomo@gmail.com
[(2)]Université Nationale Pédagogique. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Biologie. Laboratoire d'Hydrobiologie et Ecologie. BP 8815 Kinshasa I (RDC)
[(3)]Université Nationale Pédagogique. Centre de Recherches Interdisciplinaires de l'Université Nationale Pédagogique. Unité de Recherche Environnement. BP 8815 Kinshasa (RDC)

Reçu le 25 mai 2026, **accepté le** 24 juin 2026, **publié en ligne le** 27 juin 2026
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i2.24

RESUME

Description du sujet. La rivière Bitshaku-Tshaku traversant la ville de Kinshasa, subit de manière croissante, les impacts combinés d'une anthropisation intense et d'une pollution multidimensionnelle. Face à la dégradation de cet écosystème aquatique, l'évaluation de son état écologique est une nécessité environnementale majeure.
Objectif. Cette recherche vise à caractériser la structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques et à évaluer la qualité biologique de la rivière Bitshaku-Tshaku, afin de mettre en évidence les gradients de perturbation le long de son cours d'eau.
Méthodes. L'étude repose sur un design expérimental descriptif et analytique, combinant le suivi des paramètres physico-chimiques, de la structure des communautés de macroinvertébrés benthiques et d'indices biotiques. Les analyses physico-chimiques ont été réalisées au Centre Régional d'Études Nucléaires de Kinshasa (CREN-K), tandis que l'identification biologique des communautés de macroinvertébrés a été menée au Laboratoire d'Hydrobiologie de l'Université Pédagogique Nationale.
Résultats. Les analyses physico-chimiques révèlent une dégradation critique de la qualité de l'eau, caractérisée par un déficit sévère en oxygène dissous associé à des valeurs élevées de demande biochimique en oxygène (DBO_5) et de demande chimique en oxygène (DCO), traduisant une forte charge en matière organique. Les fortes concentrations en nutriments, notamment les nitrates et les orthophosphates, confirment un enrichissement excessif du milieu propice à l'eutrophisation. Sur le plan biologique, l'inventaire met en évidence une faible diversité taxonomique, largement dominée par des taxons tolérants à la pollution.
Conclusion. La rivière Bitshaku-Tshaku s'affirme comme un hydrosystème dégradé par les pressions anthropiques urbaines. Il est urgent d'implémenter des mesures de gestion et de restauration écologiques.

Mots-clés : Rivière Bitshaku-Tshaku, macroinvertébrés benthiques, paramètres physico-chimiques, pollution organique, Kinshasa

ABSTRACT

Physico-chemical and bio-indicative evaluation of the Bitshaku-Tshaku River in Kinshasa (Democratic Republic of the Congo) via benthic macroinvertebrates
Description of the subject. The Bitshaku-Tshaku River, which flows through the city of Kinshasa, is under increasing pressure from the combined impacts of intense anthropization and multidimensional pollution. Given the degradation of this aquatic ecosystem, assessing its ecological status has become a major environmental necessity.
Objective. This research aims to characterize the structure of benthic macroinvertebrate communities and evaluate the biological quality of the Bitshaku-Tshaku River, in order to highlight disturbance gradients along its watercourse.
Methods. The study is based on a descriptive and analytical experimental design, combining the monitoring of physico-chemical parameters, benthic macroinvertebrate community structure, and biotic indices. Physico-

chemical analyses were performed at the Regional Centre for Nuclear Studies of Kinshasa (CREN-K), while the biological identification of macroinvertebrate communities was conducted at the Hydrobiology Laboratory of the Université Pédagogique Nationale (UPN).
Results. Physico-chemical analyses reveal a critical degradation of water quality, characterized by a severe dissolved oxygen deficit associated with high values of biochemical oxygen demand (BOD_5) and chemical oxygen demand (COD), reflecting a heavy organic matter load. High nutrient concentrations, particularly nitrates and orthophosphates, confirm an excessive enrichment of the environment conducive to eutrophication. Biologically, the inventory highlights low taxonomic diversity, which is heavily dominated by pollution-tolerant taxa.
Conclusion. The Bitshaku-Tshaku River stands as a heavily degraded hydrosystem due to urban anthropogenic pressures. There is an urgent need to implement ecological management and restoration measures.

Keywords: Bitshaku-Tshaku River, benthic macroinvertebrates, physico-chemical parameters, organic pollution, Kinshasa.

1. INTRODUCTION

Les hydrosystèmes constituent des milieux dynamiques dont le fonctionnement dépend étroitement des interactions entre les composantes biotiques et abiotiques. Dans les régions tropicales africaines, ces écosystèmes aquatiques sont particulièrement sensibles aux perturbations d'origine anthropique, notamment en milieu urbain où les pressions liées à l'urbanisation rapide, au rejet d'effluents domestiques et industriels ainsi qu'à l'occupation anarchique des berges entraînent une dégradation progressive de la qualité écologique des cours d'eau (Walsh *et al*., 2005 ; Allan & Castillo, 2007 ;, Sisa *et al.,* 2025).

L'évaluation de la qualité écologique des hydrosystèmes repose sur des approches intégrées combinant des analyses physico-chimiques et biologiques. Parmi ces dernières, l'étude des macroinvertébrés benthiques s'est imposée comme un outil de bioindication fiable et largement rependue en raison de leur sensibilité différentielle aux perturbations environnementales, de leur cycle de vie relativement long et de leur capacité à intégrer les variations des conditions du milieu sur le long terme (Bonada *et al*., 2006 ; Kamb, 2018). En effet, certains groupes (taxons), notamment les Diptères et les Mollusques, sont reconnus pour leur tolérance élevée aux conditions de pollution organique, tandis que d'autres taxons plus sensibles disparaissent progressivement lorsque la qualité de l'eau se dégrade (Hilsenhoff, 1988 ; Tachet *et al.,* 2010).

Dans les milieux urbains tropicaux, les cours d'eau subissent une pression croissante liée à l'intensification des activités humaines, entraînant des modifications profondes de la structure des communautés de zoobenthoses. Ces modifications se traduisent généralement par une réduction de la richesse taxonomique, une dominance accrue de taxons tolérants et une homogénéisation des peuplements, reflétant un état écologique dégradé (Paul & Meyer, 2001 ; Dudgeon *et al*., 2006). Par ailleurs, l'analyse des indices biologiques tels que l'Indice Biologique Global Normalisé (IBGN), l'indice de diversité de Shannon-Weaver ou encore l'indice de tolérance de Hilsenhoff permet de quantifier le degré de perturbation et de classer les masses d'eau selon leur qualité écologique (AFNOR, 2004 ; Bashigue *et al*., 2026).

En République Démocratique du Congo, et particulièrement dans la ville de Kinshasa, les études portant sur la qualité biologique des cours d'eau urbains restent encore limitées, malgré une urbanisation rapide et souvent non planifiée. Les rivières urbaines, telles que la rivière Bitshaku-Tshaku, sont soumises à de multiples sources de pollution, incluant les rejets domestiques, les eaux de ruissellement et les activités artisanales, ce qui compromet leur fonctionnement écologique et les services écosystémiques qu'elles fournissent aux populations environnantes.

Dans ce contexte, l'étude de la structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques constitue une approche pertinente pour diagnostiquer l'état écologique de ces hydrosystèmes. Elle permet non seulement d'identifier les taxons indicateurs de pollution, mais aussi d'analyser les relations entre les communautés biologiques et les paramètres environnementaux.

Ainsi, le présent travail vise à caractériser la structure des peuplements de macroinvertébrés benthiques et à évaluer la qualité biologique de la rivière Bitshaku-Tshaku, en mettant en évidence les gradients de perturbation le long du cours d'eau. Plus spécifiquement, il s'agit de : (i) déterminer la composition taxonomique et la distribution des macroinvertébrés, (ii) analyser les indices de diversité et de qualité biologique, et (iii) établir les relations entre les communautés benthiques et les paramètres physico-chimiques du milieu.

Cette étude présente un intérêt important pour l'évaluation de la pollution urbaine sur les écosystèmes aquatiques de Kinshasa, afin de

contribuer à leur gestion durable et à la protection de la santé des populations riveraines.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Milieu d'étude

La rivière Bitshaku-Tshaku (Figure 1) constitue à l'origine un collecteur d'eaux usées urbaines qui s'apparente à un cours d'eau naturel uniquement à son embouchure, où elle se déverse dans le fleuve Congo. Elle prend sa source au niveau du croisement des avenues Croix-Rouge et Marché, dans la commune de Kinshasa, à proximité du stade du 24 novembre, où elle est principalement alimentée par une nappe phréatique affleurante.

D'une longueur d'environ 3 km, la rivière traverse successivement les communes de Kinshasa, Barumbu et Gombe, drainant les eaux usées domestiques et pluviales de ces zones fortement urbanisées. Son tracé débute dans la commune de Kinshasa, puis suit un parcours globalement parallèle à l'avenue Kilosa. Elle franchit ensuite l'intersection des avenues Bokassa et Kilosa pour pénétrer dans la commune de Barumbu. À partir de l'avenue Itaga, son cours s'oriente vers le nord-est avant de rejoindre le fleuve Congo au niveau des installations des chantiers navals de l'ONATRA à Ndolo, après avoir traversé en souterrain une partie de la zone industrielle de la commune de la Gombe.

La rivière Bitshaku-Tshaku reçoit les apports de deux affluents principaux : le ruisseau Bakongo, qui prend sa source au sud de l'avenue Kabambare et conflue avec elle après le franchissement de l'avenue Luambo-Makiadi (ex-Bokassa), et le ruisseau Itaga, qui longe l'avenue du même nom avant de la rejoindre en aval. En outre, elle collecte les eaux de plusieurs réseaux de drainage pluvial, notamment ceux des avenues Marais, Plateau et Bokassa, ce qui renforce son rôle de collecteur urbain.

Sur le plan morphologique, la rivière présente une faible pente longitudinale estimée à environ 2 %, ce qui favorise l'accumulation des sédiments et des polluants. Elle est entièrement maçonnée sur l'ensemble de son parcours et possède une section trapézoïdale avec des talus inclinés à 45°. Ses dimensions varient de l'amont vers l'aval, atteignant dans son dernier tronçon une largeur d'environ 6 m au miroir et une profondeur de 2,3 m, permettant un débit de transit estimé à environ 50 m³/s.

La présente étude est réalisée dans la ville-province de Kinshasa, plus précisément dans sa partie nord-est, au niveau des communes de Kinshasa, Barumbu et Gombe, qui constituent les principales zones traversées par la rivière Bitshaku-Tshaku. Ces zones, caractérisées par une forte densité de population et une urbanisation intense, exercent une pression significative sur la qualité écologique de cet hydrosystème. Les coordonnées géographiques des stations de prélèvement ont été relevées *in situ* à l'aide d'un GPS de marque Garmin GPSmap 60CSx afin d'assurer la traçabilité spatiale des échantillons (Tableau 1).

Tableau 1. Coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage dans la rivière Bitshaku-Tshaku

Stations	Altitudes en mètres	Latitudes	Longitudes
St 1	231	4,31942	15,31231
St 2	281	4,31716	15,31416
St 3	274	4,31269	15,32035
St 4	281	4,31202	15,32232
St 5	279	4,31077	15,32389
St 6	275	4,30621	15,32589

La figure 1 illustre les stations d'échantillonnage dans la rivière Bitshaku-Tshaku

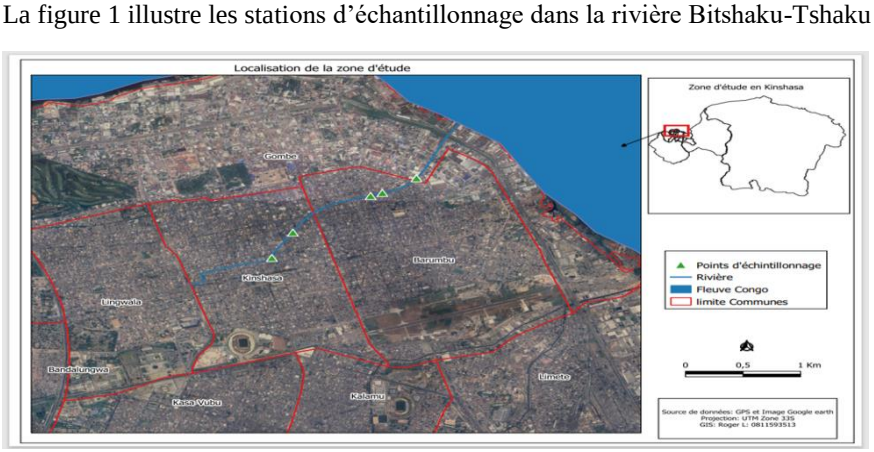

Figure 1. Localisation de la rivière Bitshaku-Tshaku et les stations de prélèvement.

2.2. Méthodes

L'étude réalisée en saison pluvieuse 2026 a adopté un design expérimental descriptif à visée analytique, basé sur l'évaluation des paramètres physico-chimiques, de la structure de communautés de macroinvertébrés benthiques et des indices biologiques. L'approche repose sur : (i) des mesures des paramètres physico-chimiques, (ii) des analyses de la structure de macroinvertébrés, (iii) une évaluation de la qualité biologique et écologique de l'eau.

2.3. Caractéristiques physico-chimiques des hydrosystèmes

Quatre paramètres physiques des eaux de rivière Bitshaku-Tshaku ont été prélevés *in-situ*. Il s'agit de la température de l'eau (°C), de la conductivité à 20 °C (µS/cm), de la turbidité (UNT : Unité Néphélométrique de Turbidité) et du pH. Ils ont été mesurés à l'aide d'une sonde à analyseur multiparamètre de marque Hanna HI 9829.

Les paramètres chimiques des eaux de la rivière Bitshaku-Tshaku ont été analysés au laboratoire du Commissariat Général à l'Energie Atomique (CGEA/CREN-K) à partir des échantillons d'eau qui y ont été prélevés. Le spectrophotomètre HACH DR/2400 a permis d'évaluer les paramètres ci-après : l'ammonium (NH_4^+ mg/L), le nitrite (NO_2^- mg/L), le nitrate (NO_3^- mg/L), les phosphates (PO_4^{3-} mg/L). Pour permettre la lecture des résultats de l'analyse sur le spectrophotomètre, l'eau échantillonnée a été filtrée à l'aide des papiers filtres de marque StonyLab et de 50 µm de diamètre des pores, les réactifs titrants respectifs ont été ajoutés puis le Programme Hach (PH) de l'élément ou de l'ion à doser a été sélectionné.

La Demande Biologique en Oxygène (DBO5) (mg/l) et la Demande Chimique en Oxygène (DCO) ont été déterminées après incubation pendant cinq jours dans une enceinte thermostatée (à 20 °C, à l'abri de la lumière et de l'air) à l'aide d'un Oxymètre de marque ProODo YSI.

2.4. Echantillonnage, conservation et identification de Macroinvertébrés

Les spécimens de macroinvertébrés ont été prélevés à l'aide d'un surber. Ce dernier est constitué d'un cadre métallique vertical de 30 cm de côté sur lequel est fixé un filet cônique à maille de 1 mm, et d'une structure horizontale de 30 cm de côté également. Le matériel était posé horizontalement sur le substrat, l'ouverture du filet orientée à contrecourant facilitant la récupération des macroinvertébrés localisés dans cette aire chaque fois que le substrat était agité. Les spécimens récoltés à la rivière Bitshaku-Tshaku ont été placés dans des bocaux transparents de 2 litres, contenant l'eau du site afin de permettre leur mobilité et faciliter leur capture après un premier tri consistant à les séparer des matières organiques ainsi que des autres sédiments (vase, sable, galet etc.). Les spécimens ont été identifiés au laboratoire d'hydrobiologie de l'Université Pédagogique Nationale à l'aide des clés proposées par Durand et Lévèques (1980), Mary (2010), Evrard (2001) et Tachet *et al*., (2010) après un tri minutieux et fixés dans du formol préparé à 5 % contenu dans des bocaux en plastiques de 60 ml puis conservés dans l'alcool à 70 %.

2.5. Qualité structurelle des peuplements

Pour comparer la diversité taxonomique stationnelle de la rivière, plusieurs analyses de peuplements ont été faites. Il s'agit de la diversité taxonomique (richesse taxonomique, la composition taxonomique) et des indices biodiversités (Shannon et Weaver, équitabilité de Piélou et similarité de Jaccard). La diversité taxonomique est représentée par deux composantes : la richesse taxonomique et l'abondance relative (Campbell et Reece, 2007, Kamb, 2018). La richesse taxonomique représente le nombre de taxons présents dans une communauté prélevée dans chaque station et dans la rivière témoin et la composition taxonomique ou l'abondance relative des taxons est la proportion de chaque taxon de MIB par rapport au nombre total d'individus contenus dans une communauté. Elle permet de brosser un tableau de l'organisation et de la contribution relative d'une population dans l'ensemble faunistique de l'échantillon (Goaziou, 2004 ; Kamb, 2018).

L'indice de Shannon et Weaver (H'), couramment utilisé en écologie, permet de qualifier la diversité des peuplements. Il est basé sur les proportions des taxons que l'on observe. Cet indice a été calculé sur chacune des listes faunistiques obtenues selon la formule suivante (Kapoor et White, 1992 : Evrard, 1996) : $\mathbf{H'= -\sum_{i=1}^{S} Pi.logPi}$ Où : H' : Indice de diversité de Shannon-Weaver ; S : nombre de taxons (espèces) ; *ni*/ N: abondance relative de chaque taxon ; *ni* : effectif du taxon i; N : effectif total.
Dans la nature, la valeur de H se situe entre 0,5 (très faible diversité) et 4,5 (dans le cas d'échantillons de grande taille de communautés complexes).

L'indice d'équitabilité de Piélou (E') permet de mesurer l'équilibre 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 et Pelletier, 2011). Cet indice varie de 0 à 1, et s'obtient par la formule : J = - H'/ H'max Où

H'max= $\log_2 S$. Une équitabilité faible représente une dominance de quelques espèces.

L'indice de similarité de Jaccard qui mesure le degré de similarité des peuplements des différentes stations au sein d'un hydrosystème. Il est calculé à l'aide de la formule (Kapoor et white, 1992 ; Evrard, 1996) : $I = \frac{Nc}{Nx+Ny-Nc}$ Où : Nc : nombre de taxons communs aux stations x et y et Nx et Ny : nombre de taxons présents respectivement aux stations x et y.

2.6. Indicateurs biologiques de la qualité de l'eau

L'évaluation de la qualité biologique et écologique de la rivière Bitshaku-Tshaku a été faite à partir de l'Indice Biotique Global Normalisé (I.B.G.N.) conformément aux prescriptions reprises dans la norme NF T 90-350 de mars 2004 d'après AFNOR (2004). Cet indice a pour objet d'évaluer la tendance d'évolution de la qualité des eaux des écosystèmes lotiques à partir de l'étude des indicateurs biologiques négatifs (eaux pures) ou positifs (eaux polluées) existant dans la macrofaune benthique (Ramade, 2005).

L'IBGN fournit une estimation qualitative du milieu dans son ensemble en utilisant la faune des macroinvertébrés comme compartiment intégrateur de celui-ci. Selon l'Agence Française de Normalisation (AFNOR, 2004), l'appréciation de la qualité de l'eau est fonction de la cote attribuée après analyse des macroinvertébrés. Le principe de cette méthode consiste à déterminer la variété taxonomique (st) et le groupe faunistique indicateur (GI), puis à sélectionner la famille qui représente le degré de polluo-sensibilité le plus élevé de l'échantillon intégré.

L'indice est lu au croisement de la colonne de la variété taxonomique et de la ligne du groupe faunistique indicateur. La variété taxonomique (st) donne des renseignements sur celle d'habitats présents dans un cours d'eau tandis que le groupe faunistique indicateur (GI) donne des informations sur la qualité physico-chimique de l'eau.

Après analyse des macroinvertébrés, une note est attribuée à chaque station en fonction du groupe faunistique indicateur et de la variété faunistique. La note attribuée varie de 0 à 20 en fonction du groupe faunistique indicateur et de la diversité faunistique (tableau 2). Cette note peut être utilisée pour cartographier la qualité des cours d'eaux d'une région donnée (AFNOR, 2004).

Tableau 2. Grilles de détermination de la qualité du cours d'eau

Classe de couleur	Qualité biologique	Note I.B.G.N
Bleu	Très bonne	Note ≥ 17
Vert	Bonne	16 ≥ note ≥ 13
Jaune	Passable	12 ≥ note ≥ 9
Orange	Mauvaise	8 ≥ note ≥ 5
Rouge	Très mauvaise	Note < 5

La qualité biologique et écologique des eaux des rivières étudiées repose sur la richesse taxonomique de chaque station et sur la sensibilité à la pollution des groupes faunistiques indicateurs (Rodier, 2009).

2.7. Tolérance ou intolérance à la pollution organique

Une abondance relative élevée d'un ou de deux taxons, est une variable utilisée comme mesure de tolérance à la pollution au sein d'un hydrosystème. Des cotes de tolérance, variant sur une échelle de 0 à 10, ont été attribuées aux différents taxons. Des cotes adaptées à la famille sont reprises dans l'annexe 2 (Hilsenhoff, 1988). Seuls les taxons qui ont une cote de tolérance sont inclus dans le calcul. A une station donnée, l'indice d'Hilsenhoff (FBI : Family Biotic Index) se calcule comme suit : **FBI =∑xi.ti / ni Où** Xi : nombre d'individus du énieme taxon ; ti : tolérance du énieme taxon ; ni : nombre d'individus composant l'échantillon.

Plus le résultat est élevé, plus l'hydrosystème est susceptible d'être touché par un stress. Moisan et Pelleteir (2011) ; Kamb (2018) proposent une échelle d'interprétation des résultats obtenus pour le FBI (Tableau 3).
Tableau 3. Echelle d'interprétation de l'indice Hilsenhoff pour le FBI (Hilsenhoff, 1988)

Hilsenhoff	Qualité	Pollution organique
0,00 à 3,75	Excellente	Sans pollution organique
3,76 à 4,25	Très bonne	Légère pollution organique possible
4,26 à 5,00	Bonne	Pollution organique probable
5,01 à 5,75	Moyenne	Pollution organique assez substantielle
5,76 à 6,50	Plutôt mauvaise	Pollution organique substantielle
6,51 à 7,25	Mauvaise	Pollution organique très substantielle

7,26 à 10,00	Très mauvaise	pollution organique grave

2.8. Analyse statistique

Les données ont été analysées à l'aide d'une approche descriptive (moyennes, écartypes et abondance relative). Les données de paramètres physicochimiques ont été comparées entre les stations à l'aide de test non paramètrique de Kwuskal-wallis.

3. RESULTATS

3.1. Paramètres physiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku

Le tableau 4 présente les variations des paramètres physiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku au cours de la saison pluvieuse 2025.

Tableau 4. Paramètres physiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku en saison pluvieuse 2025

Paramètres	Stations						Moyenne
	1	2	3	4	5	6	
Temp (°C)	28,1	28,5	29,2	28,0	27,6	27,3	28,1±0,67
Cond (µS/cm)	658,0	680,0	733,0	687,0	675,0	600,0	672,0±43,4
Turb (UNT)	51,0	55,3	56,6	50,5	56,2	57,28	54,5±2,9
Ph	6,8	6,7	6,6	6,8	7,02	7,5	6,9±0,3

La température de l'eau a varié entre 27,3 °C (station 6) et 29,2 °C (station 3), avec une moyenne de 28,1 ± 0,6 °C, traduisant des conditions thermiques relativement homogènes le long du cours d'eau. La conductivité électrique a oscillé entre 600,0 µS/cm (station 6) et 733,0 µS/cm (station 3), avec une moyenne de 672 ± 43,4 µS/cm, indiquant une minéralisation relativement élevée des eaux, probablement liée aux apports d'origine anthropique. La turbidité a présenté des valeurs comprises entre 50,55 UNT (station 4) et 57,2 UNT (station 6), avec une moyenne de 54,5 ± 2,9 UNT, traduisant une charge importante en matières en suspension, typique des milieux urbains soumis au ruissellement. Le pH a varié de 6,6 (station 3) à 7,5 (station 6), avec une moyenne de 6,9 ± 0,3, indiquant des eaux globalement neutres à légèrement basiques.

L'analyse statistique réalisée à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis n'a révélé aucune différence significative entre les stations pour l'ensemble des paramètres physiques étudiés ($H = 0,12$; $p > 0,05$), ce qui suggère une homogénéité spatiale des caractéristiques physiques de la rivière durant la période d'étude.

3.2. Paramètres chimiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku

Les variations des paramètres chimiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku au cours de la saison pluvieuse 2025 sont présentées dans le tableau 5.

Tableau 5. Paramètres chimiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku en saison pluvieuse 2025

Paramètres (mg/L)	Stations						Moyenne
	1	2	3	4	5	6	
Oxydis	2,17	2,32	2,26	2,31	2,38	2,19	2,27±0,08
DBO5	38,84	41,63	43,47	40,56	42,21	46,12	42,10±2,50
DCO	57,20	60,45	62,01	56,43	58,89	63,40	59,70±2,73
NH_4^+	0,123	0,11	0,11	0,125	0,16	0,144	0,13±0,02
NO_2^-	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,05	0,06±0,01
NO_3^-	394,20	289,48	386,07	368,13	297,55	384,05	353,00±47,10
PO_4^{-3}	57,30	51,02	22,90	21,83	45,04	50,22	41,40±15,20
SO_4^{-2}	16,70	24,49	12,40	12,80	18,94	21,76	17,80±4,84
Ca^{2+}	4,19	3,84	3,76	3,67	4,824	4,196	4,08±0,43

Les concentrations en oxygène dissous ont varié entre 2,17 mg/L (station 1) et 2,38 mg/L (station 5), avec une moyenne de 2,27 ± 0,08 mg/L, indiquant une faible oxygénation des eaux. La Demande Biologique en Oxygène (DBO_5) a oscillé entre 38,84 mg/L (station 1) et 46,12 mg/L (station 6), avec une moyenne de 42,10 ± 2,50 mg/L, traduisant une forte charge en matière organique biodégradable. De même, la Demande Chimique en Oxygène (DCO) a présenté des valeurs comprises entre 56,43 mg/L (station 4) et 63,40 mg/L (station 6), avec une moyenne de 59,70 ± 2,73 mg/L, confirmant une pollution organique importante. La concentration en ammonium (NH_4^+) a varié de 0,11 mg/L (station 3) à 0,16 mg/L (station 5), avec une moyenne de 0,13 ± 0,02

mg/L. Les nitrites (NO_2^-) ont oscillé entre 0,05 mg/L (station 1) et 0,07 mg/L (station 5), pour une moyenne de 0,06 ± 0,01 mg/L, indiquant une activité de transformation de l'azote dans le milieu.

Les nitrates (NO_3^-) ont présenté des concentrations élevées, comprises entre 289,48 mg/L (station 2) et 394,20 mg/L (station 1), avec une moyenne de 353,00 ± 47,10 mg/L, traduisant un enrichissement important en azote. Les orthophosphates (PO_4^{3-}) ont varié entre 21,83 mg/L (station 4) et 57,30 mg/L (station 1), avec une moyenne de 41,40 ± 15,20 mg/L, indiquant un apport significatif en phosphore. Les sulfates (SO_4^{2-}) ont enregistré des valeurs comprises entre 12,40 mg/L (station 3) et 24,49 mg/L (station 2), avec une moyenne de 17,80 ± 4,84 mg/L. Quant au calcium (Ca^{2+}), ses concentrations ont oscillé entre 3,67 mg/L (station 4) et 4,82 mg/L (station 5), avec une moyenne de 4,08 ± 0,43 mg/L, reflétant une minéralisation modérée des eaux.

L'analyse statistique réalisée à l'aide du test non paramétrique de Kruskal-Wallis n'a révélé aucune différence significative entre les stations pour l'ensemble des paramètres chimiques étudiés ($H = 0,22$; $p > 0,05$), indiquant une homogénéité spatiale de la pollution chimique le long du cours d'eau.

4.3. Distribution des macroinvertébrés dans la rivière Bitshaku-Tshaku

La distribution des peuplements de macroinvertébrés benthiques par station ainsi que leur répartition taxonomique sont présentées dans le tableau 6.

Tableau 6. Distribution des macroinvertébrés benthiques dans la rivière Bitshaku-Tshaku en saison pluvieuse 2025

Classe	Ordre	Familles	Stations												N'
			1		2		3		4		5		6		
			ni	*ni/N*	*ni*	*ni/N*	*ni*	*ni/N*	*ni*	*ni/N*	*ni*	*ni/N*	*ni*	*ni/N*	
Insectes	Diptère	Syrphidae	29	0,63	78	0,47	79	0,64	15	0,20	4	0,15	2	0,03	207
		Chrinomidae	0	0,00	0	0,00	2	0,01	9	0,12	3	0,11	6	0,10	20
		Culicidae	0	0,00	4	0,02	5	0,04	2	0,02	7	0,26	11	0,18	29
		Muscidae	9	0,20	3	0,01	20	0,16	17	0,23	6	0,23	32	0,54	87
Gasteropode	Hygropila	Physidae	2	0,04	75	0,46	15	0,12	26	0,35	5	0,19	0	0,00	123
		Lymnaeidae	6	0,13	3	0,01	2	0,01	4	0,05	1	0,03	8	0,13	24
N			46	1,00	163	1,00	123	1,00	73	1,00	26	1,00	59	1,00	490

Légende : ni = Nombre d'individus par famille ; N' : Somme de ni au sein d'une famille dans les 6 stations ; N : Nombre d'individus par station ; ni/N : Abondance relative par station

Au total, 490 individus de macroinvertébrés benthiques ont été recensés dans l'ensemble des stations étudiées. La station 2 a enregistré l'abondance la plus élevée avec 163 individus, soit 33,20 **%** de l'effectif total. Elle est suivie des stations 3 (25,10 %), 4 (14,90 %), 6 (12,00 %), 1 (9,30 %) et 5 (5,30 %).

Sur le plan taxonomique, les peuplements sont dominés par les insectes, en particulier les Diptères, ainsi que les Gastéropodes. La famille des *Syrphidae* constitue le groupe le plus abondant avec 42,20 % des individus recensés, suivie des *Physidae* (25,10 %), des *Muscidae* (17,75 %), des *Culicidae* (5,90 %), des *Lymnaeidae* (4,80 %) et des *Chrinomidae* (4,10 %).

À l'échelle stationnelle, des variations importantes de la structure des peuplements ont été observées. À la station 1, les Syrphidae dominent largement (63,00 %), suivis des *Muscidae* (19,60 %), des *Lymnaeidae* (13,00 %) et des *Physidae* (4,30 %). La station 2 est caractérisée par une forte abondance des *Syrphidae* (47,90 %) et des *Physidae* (46,00 %), les autres familles étant faiblement représentées. À la station 3, les *Syrphidae* demeurent dominants (64,20 %), suivis des *Muscidae* (16,30 %) et des *Physidae* (12,20 %). La station 4 se distingue par une dominance des *Physidae* (35,60 %), suivis des *Muscidae* (23,30 %) et des *Syrphidae* (20,50 %). À la station 5, les *Culicidae* sont prédominants (26,90 %), suivis des *Muscidae* (23,10 %) et des *Physidae* (19,20 %). Enfin, la station 6 est dominée par les *Muscidae* (54,20 %), suivis des *Culicidae* (18,60 %) et des *Lymnaeidae* (13,60 %), tandis que les *Physidae* y sont absents.

Dans l'ensemble, cette distribution met en évidence une domination des taxons tolérants à la pollution, ainsi qu'une variabilité spatiale marquée des communautés, probablement liée aux conditions environnementales locales et aux apports anthropiques le long du cours d'eau.

4.4. Variation des indices de diversité des macroinvertébrés

Le tableau 7 présente la variation des indices de diversité des macroinvertébrés benthiques dans la rivière Bitshaku-Tshaku au cours de la saison pluvieuse 2025.

Tableau 7. Variation des indices de diversité des macroinvertébrés dans la rivière Bitshaku-Tshaku

Indice	Stations					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
S	4	5	6	6	6	5
Nombre d'individus	46	163	123	73	26	59
Shannon_H'	1,01	0,95	1,1	1,55	1,67	1,26
Equitability_J'	0,73	0,59	0,61	0,86	0,93	0,78

L'analyse de la richesse taxonomique (S) a montré que les stations 3, 4 et 5 ont présenté le nombre le plus élevé de familles (S = 6), traduisant une diversité taxonomique relativement importante dans ces secteurs. Elles sont suivies des stations 2 et 6 (S = 5), tandis que la station 1 a affiché la richesse la plus faible (S = 4).
En ce qui concerne la diversité spécifique évaluée à l'aide de l'indice de Shannon-Weaver (H'), la valeur la plus élevée a été enregistrée à la station 5 (H' = 1,67), indiquant une structure de peuplement relativement diversifiée. Les stations 4 (H' = 1,55) et 6 (H' = 1,26) présentent également des niveaux de diversité modérés, tandis que les stations 3 (H' = 1,10), 1 (H' = 1,01) et 2 (H' = 0,95) affichent des valeurs plus faibles, traduisant une diversité réduite.

L'équitabilité de Piélou (J'), qui renseigne sur la répartition des individus entre les taxons, montre une meilleure homogénéité des peuplements à la station 5 (J'= 0,93), suivie des stations 4 (J' = 0,86), 6 (J' = 0,78) et 1 (J' = 0,73). En revanche, les stations 3 (J'= 0,61) et 2 (J'= 0,59) présentent une distribution moins équilibrée, suggérant une dominance de certains taxons.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence une variabilité spatiale de la diversité biologique, avec des stations relativement plus équilibrées et diversifiées, contrastant avec d'autres dominées par un nombre restreint de taxons, ce qui pourrait refléter l'influence des conditions environnementales et des pressions anthropiques le long du cours d'eau

4.6. Qualité biologique et écologiques

Le tableau 8 présente l'évaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Bitshaku-Tshaku au cours de la saison pluvieuse 2025, sur la base de l'indice biologique global normalisé (IBGN).

Tableau 8. Évaluation de la qualité biologique et écologique des eaux de la rivière Bitshaku-Tshaku

Stations	Somme de taxons	Classe de variété	Groupe indicateur	IBGN	Classe de qualité
1	4	2	Mollusque (Physidae et Lymnaeidae)	3	Très Mauvaise
2	5	2	Mollusque (Physidae et Lymnaeidae)	3	Très Mauvaise
3	6	2	Mollusque (Physidae et Lymnaeidae)	3	Très Mauvaise
4	6	2	Mollusque (Physidae et Lymnaeidae)	3	Très Mauvaise
5	6	2	Mollusque (Physidae et Lymnaeidae)	3	Très Mauvaise
6	5	2	Mollusque (Physidae et Lymnaeidae)	3	Très Mauvaise

L'analyse des résultats a indiqué que les mollusques, notamment les familles *Physidae* et *Lymnaeidae* ont constitué les taxons indicateurs dominants dans l'ensemble des stations étudiées. Ces groupes sont reconnus pour leur tolérance élevée aux conditions de pollution, ce qui reflète l'état dégradé du milieu.

Les valeurs de l'IBGN ont été identiques pour toutes les stations (IBGN = 3), traduisant une très mauvaise qualité biologique et écologique sur l'ensemble du tronçon étudié. Cette homogénéité des faibles scores met en évidence une dégradation généralisée de l'hydrosystème, probablement liée à des apports continus de polluants d'origine anthropique.

4.7. Tolérance ou intolérance à la pollution organique

Par ailleurs, l'évaluation du degré de pollution organique a été réalisée à l'aide de l'indice de Hilsenhoff (Family Biotic Index et FBI), dont les résultats sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9. Qualité de l'eau et degré de pollution organique de la rivière Bitshaku-Tshaku

Stations	FBI	Qualité	Niveau de pollution organique
1	8,6	Très mauvaise	pollution organique grave
2	8,8	Très mauvaise	pollution organique grave
3	8,8	Très mauvaise	pollution organique grave
4	6,8	Mauvaise	Pollution organique très substantielle
5	6,8	Mauvaise	Pollution organique très substantielle
6	5,9	Plutôt mauvaise	Pollution organique substantielle

Les valeurs de l'indice FBI ont varié entre 5,9 (station 6) et 8,8 (station 2), indiquant globalement une forte pollution organique le long du cours d'eau. Les stations 1, 2 et 3 ont présenté des valeurs élevées (FBI > 8), correspondant à une qualité d'eau très mauvaise et à une pollution organique grave. Les stations 4 et 5 ont affiché des valeurs intermédiaires (FBI = 6,85), traduisant une pollution organique très substantielle. En revanche, la station 6, bien que légèrement moins dégradée (FBI = 5,9), a demeuré caractérisée par une pollution organique substantielle. La station 2 présente le niveau de tolérance à la pollution le plus élevé (FBI = 8,88), tandis que la station 6 a affiché la valeur la plus faible, indiquant une pression organique légèrement moins marquée.Dans l'ensemble, ces résultats confirment une altération importante de la qualité écologique de la rivière, en cohérence avec la dominance de taxons tolérants et les fortes charges en matière organique observées.

4. DISCUSSION

Les résultats de cette étude ont mis en évidence une dégradation marquée de la qualité des eaux de la rivière Bitshaku-Tshaku, caractéristique des hydrosystèmes urbains tropicaux soumis à de fortes pressions anthropiques. Les faibles concentrations en oxygène dissous (≈ 2,27 mg/L) associées aux valeurs élevées de DBO_5 (≈ 42 mg/L) et de DCO (≈ 59 mg/L) ont traduit une charge importante en matière organique biodégradable et oxydable**.** Ces valeurs ont dépassé largement les seuils généralement admis pour les eaux de bonne qualité et ont indiqué une pollution organique intense**,** souvent liée aux rejets domestiques non traités et aux effluents urbains (Chapman, 1996 ; Metcalf & Eddy, 2014 ; Kamb, 2018 ; Sisa *et al*., 2022).

Les fortes concentrations en nutriments, notamment les nitrates (≈ 353 mg/L) et les orthophosphates (≈ 41,4 mg/L), révèlent un enrichissement excessif du milieu (eutrophisation)**.** Ce phénomène est fréquemment observé dans les cours d'eau urbains où les apports en azote et phosphore proviennent des eaux usées domestiques, des lixiviats et du ruissellement urbain (Smith *et al.,* 1999 ; Dodds & Smith, 2016). Par ailleurs, l'absence de différences significatives entre les stations ($p > 0,05$) suggère une homogénéité spatiale de la pollution, indiquant une contamination diffuse le long du cours d'eau, comme observé dans plusieurs rivières urbaines africaines (Kambiré., 2017).

L'analyse des macroinvertébrés benthiques révèle une domination des taxons tolérants à la pollution**,** notamment les familles *Syrphidae, Physidae* et *Muscidae.* Cette composition faunistique est typique des milieux fortement perturbés, où les espèces sensibles disparaissent au profit d'organismes opportunistes (Rosenberg & Resh, 1993 ; Bonada *et al.,* 2006 ; Kawesi *et al*., 2026).

Les valeurs relativement faibles de l'indice de Shannon ($H' \leq 1,67$) et les variations de l'équitabilité indiquent une diversité biologique réduite et une distribution inégale des taxons**,** traduisant un déséquilibre écologique. Ces résultats sont cohérents avec les conditions de forte pollution observées dans les paramètres physico-chimiques.

La faible similarité entre les stations (indice de Jaccard ≤ 0,33) met en évidence une hétérogénéité spatiale des communautés**,** probablement liée à la variabilité locale des conditions environnementales et des sources de pollution.
Les faibles valeurs de l'IBGN (IBGN = 3) obtenues dans toutes les stations indiquent une très mauvaise qualité biologique**,** confirmant la dégradation avancée du milieu. La dominance des mollusques (*Physidae* et *Lymnaeidae*), reconnus pour leur tolérance à la pollution, renforce ce constat (AFNOR, 2004). De même, les valeurs élevées de l'indice de Hilsenhoff (FBI allant de 5,9 à 8,88) traduisent une pollution organique substantielle à grave. Ces indices biologiques sont largement utilisés pour diagnostiquer l'état écologique des cours d'eau et sont particulièrement sensibles aux apports organiques (Hilsenhoff, 1988).

L'Analyse en Composantes Principales a permis d'identifier un gradient de pollution structurant les communautés biologiques**.** Les corrélations positives entre les familles *Chrinomidae, Culicidae*

et *Muscidae* et les paramètres tels que la DBO_5, la DCO, l'ammonium et la turbidité confirment leur affinité pour des milieux pollués. En revanche, les *Lymnaeidae* sont associés à des eaux riches en nutriments et en ions dissous, tandis que les Physidae montrent une affinité avec des eaux minéralisées. Ces résultats confirment que la distribution des macroinvertébrés est fortement influencée par la qualité physico-chimique de l'eau, comme démontré dans de nombreuses études (Johnson & Ringler, 2014 ; Buss *et al.,* 2015, Kamb, 2018 ; Bashigue *et al*., 2026 ; Kawesi *et al.*, 2026).

Dans l'ensemble, les résultats indiquent que la rivière Bitshaku-Tshaku est un hydrosystème fortement anthropisé**,** soumis à une pollution multiple (organique, nutritive et métallique). Cette situation entraîne une dégradation de la biodiversité aquatique**,** une altération des fonctions écologiques et un risque accru pour les usages de l'eau. Ces observations sont en accord avec les travaux menés dans d'autres villes africaines, où l'absence de systèmes efficaces de traitement des eaux usées conduit à une dégradation généralisée des cours d'eau urbains (UNEP, 2016).

5. CONCLUSION

La présente étude a permis d'évaluer la qualité des eaux de la rivière Bitshaku-Tshaku à travers l'analyse des paramètres physico-chimiques et des macroinvertébrés benthiques, en tant qu'indicateurs biologiques de l'état écologique du milieu. Les résultats physico-chimiques mettent en évidence une dégradation importante de la qualité de l'eau, caractérisée par de faibles concentrations en oxygène dissous et des valeurs élevées de DBO_5 et de DCO, traduisant une forte charge en matière organique. Les concentrations élevées en nutriments, notamment les nitrates et les orthophosphates, indiquent un enrichissement excessif du milieu, susceptible de favoriser des processus d'eutrophisation.

L'analyse biologique révèle une faible diversité des macroinvertébrés benthiques, dominée par des taxons tolérants à la pollution, tels que les *Syrphidae*, les *Physidae* et les *Muscidae*. Les indices de diversité, de similarité et les résultats de l'Analyse en Composantes Principales confirment une organisation des peuplements fortement influencée par la pollution organique et les conditions physico-chimiques du milieu. Les indices biologiques, notamment l'IBGN et l'indice de Hilsenhoff, indiquent une très mauvaise qualité écologique et une pollution organique allant de substantielle à grave sur l'ensemble des stations étudiées. L'absence de variation significative entre les stations suggère une pollution diffuse et homogène le long du cours d'eau.

Dans l'ensemble, la rivière Bitshaku-Tshaku apparaît comme un hydrosystème fortement dégradé sous l'effet des pressions anthropiques, nécessitant la mise en œuvre de mesures urgentes de gestion et de restauration, notamment le traitement des eaux usées, la régulation des rejets et la sensibilisation des populations riveraines. Toutefois, cette étude a été basées sur un nombre restreint de stations, l'absence d'un suivi couvrant toutes les saisons, l'identification des macroinvertebrés benthiques seulement au niveau des familles ainsi que la non prise en compte de certains polluants spécifiques tels que les métaux lourds et les contaminants microbiologiques. Mais les données obtenues ont permis d'expliquer les phénomènes étudiés. Des études ultérieures sur la rivière Bitshaku-Tshaku pourront portés sur l'évaluation des éléments traces métalliques, pesticides et microorganismes pathogènes pendant les saisons sèche et pluvieuse.

Références

AFNOR, 2004. *Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN)*. Association Française de Normalisation, 25 p.

Allan J. D. & Castillo M. M., 2007. *Stream ecology: Structure and function of running waters* (2nd ed.). Springer, 436 p.

Allowa B. J., 2013. *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (3rd ed.). Springer, 613 p.

Bashige E., Sisa M.E., Mutambel'hity S.N. D. & Kamb T.J-C., 2026. Diagnostic Intégré De La Qualité Des Eaux De La Rivière Bumbu (Kinshasa, RD Congo) A Partir D'indices Physico-Chimiques, Bactériologiques Et Trophiques. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 55(2), 2026, 652-667.

https:// doi.org/10.52155/ijpsat. v55.2.7833

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. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.51.110104.151124

Buss D. F., Carlisle D. M., Chon T. S., Culp J., Harding J. S., Keizer-Vlek H. E., Robinson W. A., Strachan S., Thirion C. & Hughes R. M., 2015. Stream biomonitoring using macro-invertebrates around the globe: A comparison of large-scale programs. *Environmental Monitoring and Assessment,* 187. https://doi.org/10.1007/s10661-014-4132-8

Campbell N. & Reece J., 2007. *Biologie*. 7ème édition. Pearson Education, Quebec, 1334 p.

Chapman D., 1996. *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. UNESCO/WHO/UNEP, 626 p.

Dodds W. K. & Smith V. H., 2016. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. *Inland Waters*, 6(2), 155–164.

Dudgeon D., Arthington A. H., Gessner M. O., Kawabata Z.-I., Knowler D. J., Lévêque C., Naiman R. J., PrieurRichard A.-H., Soto D., Stiassny M. L. J. & Sullivan C. A., 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163–182. https://doi.org/10.1017/S1464793105006950

Durand J.R. & Lévêque C.**,** 1980. *Flore et faune aquatiques de l'Afrique sahelo-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), 204 p.

Evrard M., 2001. *Macroinvetébrés inféodés aux eaux douces belges, Invertébrés dulcicoles (unités d'écologie des eaux douces)*. FUNDP, 19 p.

Goaziou Y., 2004. *Méthodes d'évaluation de l'intégrité biotique du milieu aquatique basées sur les macroinvertébrés bethiques*. Rapport de Statge, Québec, Ministère de l'Environnement, Direction du suivi de l'état de l'environnement, envirodoq n° ENV/2004/0158, Collection n°QE/146, 37 p. et 2 annexes.

Hilsenhoff W. L., 1988. Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. *Journal of the North American Benthological Society*, 7(1), 65–68. https://doi.org/10.2307/1467832

Johnson R. K. & Ringler N. H., 2014. Influence of environmental factors on macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology*, 59, 120–135.

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, RD Congo, 201 p.

Kambiré O., 2017. Pollution des cours d'eau urbains en Afrique de l'Ouest. *Journal of Water Resource and Protection*, 9, 1234–1245.

Kapoor V. & White J., 1992. Conservation biology a training manual for biological diversity and genetic resources satellitaires à haute resolution. *Revue Belge de Géographie (Belgo.)*, 339-456.

Kawesi L.N, Sisa M.E., Diango K.E. & Kamb T.J-C, 2026. Influence De L'hétérogénéité Des Substrats Sur La Structure Des Peuplements De Macroinvertébrés Benthiques Dans La Rivière Lukunga (Kinshasa, RDC). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 55(2), 668-684.

Mary N., 2010. *Caractérisation physico-chimique et Biologique des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie proposition d'un indice biotique fondé sur l'étude des macroinvertébrés*, 90 p.

Metcalf L. & Eddy H. P., 2014. *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill, 1819p.

Moisan J. & Pelletier L., 2011. *Protocole d'échantillonnage des macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Quebec- 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, 39 p.

Paul M. J. & Meyer J. L., 2001. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32, 333–365. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040

Ramade F., 2005. *Eléménts d'écologie, Ecologie appliquée*. 6è éd. Dunod, Paris, 864 p.

Rosenberg D. M. & Resh V. H., 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman & Hall, 488 p.

Sisa E.M., Kamb J-C.K., Pwema V.K,. Mutambel D.H. & Bunda N.P.M., 2022a. 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(01), 028-039.

Sisa E. M., Kamb J.-C. T., Lohaka J. D., Pwema V. K., Mutambel D. S. N., Munganga J. G., & Akatumbila A., 2025. Biodiversity of odonates (dragonflies and damselflies) in the riparian strip of the Kimpoko River in Kinshasa, DR Congo. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 13(4), 7–14. https://doi.org/10.22271/j.ento.2025.v13.i4a.9533

Smith V. H., Tilman G. D. & Nekola J. C., 1999. Eutrophication impacts. *Environmental Pollution*, 100, 179–196.

Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P., 2010. *Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie*. CNRS Éditions, 607 p.

UNEP, 2016. *A snapshot of the world's water quality: Towards a global assessment*. United Nations Environment Programme, 162 p.

Walsh C. J., Roy A. H., Feminella J. W., Cottingham P. D., Groffman P. M. & Morgan II R. P., 2005. The urban stream syndrome: Current knowledge and the search for a cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706–723. https://doi.org/10.1899/04-028.1

WHO, 2017. *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). World Health Organization, 631 p.