



Appréciation de l'état écologique de l'eau à partir paramètres abiotiques d'éléments traces métalliques d'un cours d'eau urbain tropical : cas de la rivière Bitshaku-Tshaku (Kinshasa, RD Congo)

Deogracias Mikomo Kampwini¹, Edouard Sisa Mbungu^{2,3*}, Victor Kiamfu Pwema⁴, Jean-Claude Kamb Tshijik², Emmanuel Biey Makaly¹

⁽¹⁾Université Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Sciences de l'Environnement. Laboratoire de Microbiologie. 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. B.P. 8815 Kinshasa I (RDC)

⁽³⁾Université Nationale Pédagogique. Centre de Recherches Interdisciplinaires. Unité de Recherche Environnement. BP 8815 Kinshasa I (RDC).

⁽⁴⁾University of Kinshasa. Limnology, Hydrobiology and Aquaculture Laboratory. P.O Box 190 Kinshasa XI (RDC).

Reçu le 05 juillet 2026, accepté le 28 août 2026, publié en ligne le 29 septembre 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i3.7>

RESUME

Description du sujet. La qualité des cours d'eau urbains est fortement affectée par les activités anthropiques, notamment les rejets domestiques, industriels et le ruissellement urbain. La rivière Bitshaku-Tshaku, située dans la partie nord-est de la ville de Kinshasa (République Démocratique du Congo), est soumise à ces pressions intenses qui altèrent gravement sa qualité environnementale.

Objectif. Cette étude vise à évaluer les caractéristiques physico-chimiques de la rivière Bitshaku-Tshaku, à quantifier sa contamination par les éléments-traces métalliques (ETM) et à déterminer son niveau global de pollution organique.

Méthodes. Les paramètres physiques ont été mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde multiparamètre, tandis que les paramètres chimiques et les ETM ont été analysés en laboratoire selon les méthodes normalisées de l'APHA. L'Indice de Pollution Organique (IPO) a été calculé à partir des concentrations en NH_4^+ , NO_2^- , DBO₅ et oxygène dissous. Les données statistiques ont été traitées à l'aide du test de Kruskal-Wallis et d'une Analyse en Composantes Principales (ACP).

Résultats. Les eaux présentent des températures comprises entre 27,3 et 29,2 °C, associées à une forte conductivité électrique et une turbidité élevée. Les faibles teneurs en oxygène dissous ($\approx 2,27$ mg/L), couplées aux fortes valeurs de DBO₅ (≈ 42 mg/L) et de DCO (≈ 59 mg/L), révèlent une pollution organique majeure. Les concentrations élevées en nitrates et orthophosphates traduisent un enrichissement excessif du milieu, tandis que les teneurs en plomb (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni) et cuivre (Cu) indiquent une contamination métallique significative. L'IPO moyen ($\approx 2,5$) classe la rivière parmi les eaux de mauvaise qualité, et l'ACP confirme que ce gradient de pollution est directement dicté par les rejets anthropiques.

Conclusion. La rivière Bitshaku-Tshaku subit une dégradation sévère due à une double pollution, organique et métallique. La mise en œuvre urgente de mesures de gestion environnementale et de restauration écologique s'impose pour préserver durablement cette ressource hydrique.

Mots-clés : Qualité de l'eau, éléments-traces métalliques, pollution organique, Indice de Pollution Organique (IPO), Kinshasa.

ABSTRACT

Assessment of the ecological status of water based on abiotic parameters and trace metal elements of a tropical urban stream: the case of the Bitshaku-Tshaku River (Kinshasa, DR Congo)

Description of the subject. The quality of urban streams is heavily affected by anthropogenic activities, including domestic and industrial waste discharges as well as urban runoff. The Bitshaku-Tshaku River, located in the northeastern part of the city of Kinshasa (Democratic Republic of the Congo), is subjected to these intense pressures, which severely alter its environmental quality.

Objective. This study aims to evaluate the physicochemical characteristics of the Bitshaku-Tshaku River, quantify its contamination by trace metal elements (TMEs), and determine its overall level of organic pollution.

Methods. Physical parameters were measured *in situ* using a multiparameter probe, while chemical parameters and TMEs were analyzed in the laboratory according to standard APHA methods. The Organic Pollution Index (OPI) was calculated from the concentrations of NH_4^+ , NO_2^- , BOD₅, and dissolved oxygen. Statistical data were processed using the Kruskal-Wallis test and Principal Component Analysis (PCA).

Results. Water temperatures ranged between 27.3 and 29.2 °C, associated with high electrical conductivity and elevated turbidity. Low dissolved oxygen levels (≈ 2.27 mg/L), coupled with high BOD₅ (≈ 42 mg/L) and COD (≈ 59 mg/L) values, reveal major organic pollution. Elevated concentrations of nitrates and orthophosphates reflect an excessive enrichment of the environment, while lead (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni), and copper (Cu) levels indicate significant metal contamination. The average OPI (≈ 2.5) classifies the river among poor-quality waters, and PCA confirms that this pollution gradient is directly driven by anthropogenic inputs.

Conclusion. The Bitshaku-Tshaku River suffers severe degradation due to a dual pollution pattern, both organic and metallic. The urgent implementation of environmental management measures and ecological restoration is necessary to sustainably preserve this water resource.

Keywords: Water quality, trace metal elements, organic pollution, Organic Pollution Index (OPI), Kinshasa.

1. INTRODUCTION

Les écosystèmes aquatiques continentaux jouent un rôle fondamental dans le maintien des équilibres écologiques et dans la satisfaction des besoins humains en eau. Toutefois, dans les zones urbaines en expansion rapide, ces systèmes sont soumis à des pressions anthropiques croissantes, notamment les rejets d'eaux usées domestiques, les effluents industriels et le ruissellement urbain, qui contribuent à la dégradation de la qualité des eaux de surface (Meybeck & Helmer, 1989 ; Walsh *et al.*, 2005). Dans les villes africaines, où l'urbanisation est souvent non planifiée et les infrastructures d'assainissement insuffisantes, les cours d'eau urbains deviennent fréquemment des récepteurs directs de polluants multiples, affectant leur fonctionnement écologique et leur usage par les populations (UNEP, 2016).

L'évaluation de la qualité des eaux repose traditionnellement sur l'analyse des paramètres physico-chimiques, qui permettent de caractériser l'état trophique, le niveau de minéralisation et la présence de substances polluantes. Des indicateurs tels que la Demande Biologique en Oxygène (DBO₅), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), les nutriments azotés et phosphorés ainsi que l'oxygène dissous sont largement utilisés pour diagnostiquer les niveaux de pollution organique et l'état de dégradation des milieux aquatiques (Chapman, 1996 ; Wetzel, 2001). En complément, l'Indice de Pollution Organique (IPO) constitue un outil synthétique permettant d'intégrer plusieurs paramètres chimiques (notamment NH_4^+ , NO_2^- , DBO₅ et O_2 dissous) afin de classer les eaux selon leur degré de pollution organique (Leclercq & Maquet, 1987).

Par ailleurs, la contamination des milieux aquatiques par les éléments traces métalliques (ETM) représente une problématique environnementale majeure en milieu urbain. Des

métaux tels que le plomb (Pb), le cadmium (Cd), le nickel (Ni), le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le fer (Fe) sont introduits dans les hydrosystèmes à travers diverses sources anthropiques, incluant les activités industrielles, le trafic routier, les déchets solides et les eaux de ruissellement (Förstner & Wittmann, 2012 ; Tchounwou *et al.*, 2012). Ces éléments présentent un caractère toxique, persistant et bioaccumulatif, constituant ainsi un risque pour les organismes aquatiques et la santé humaine (Jaishankar *et al.*, 2014).

Dans les hydrosystèmes tropicaux urbains, la combinaison de la pollution organique et de la contamination métallique engendre des effets synergiques qui altèrent profondément la qualité des eaux et les fonctions écologiques associées. La caractérisation conjointe des paramètres physico-chimiques, des ETM et de l'indice IPO permet ainsi de fournir un diagnostic environnemental global et pertinent pour la gestion durable des ressources en eau (Simeonov *et al.*, 2003).

En République Démocratique du Congo, et particulièrement dans la ville de Kinshasa, les cours d'eau urbains font face à une pression anthropique intense liée à la croissance démographique rapide et à l'insuffisance des systèmes d'assainissement. La rivière Bitshaku-Tshaku, qui traverse les communes de Kinshasa, Barumbu et Gombe, constitue un exemple typique de ces hydrosystèmes fortement dégradés, recevant des apports continus d'eaux usées domestiques, d'effluents industriels et de ruissellements urbains.

Dans ce contexte, la présente étude vise globalement à caractériser la qualité physico-chimique, évaluer la contamination en éléments traces métalliques et déterminer le niveau de pollution organique à l'aide de l'indice IPO dans la rivière Bitshaku-Tshaku. Spécifiquement, il s'agit

de : (i) analyser les paramètres physico-chimiques de l'eau, (ii) quantifier les concentrations en métaux lourds, et (iii) évaluer le degré de pollution organique afin de fournir des éléments scientifiques utiles à la gestion et à la réhabilitation de ce cours d'eau urbain.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Site 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'ex-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.

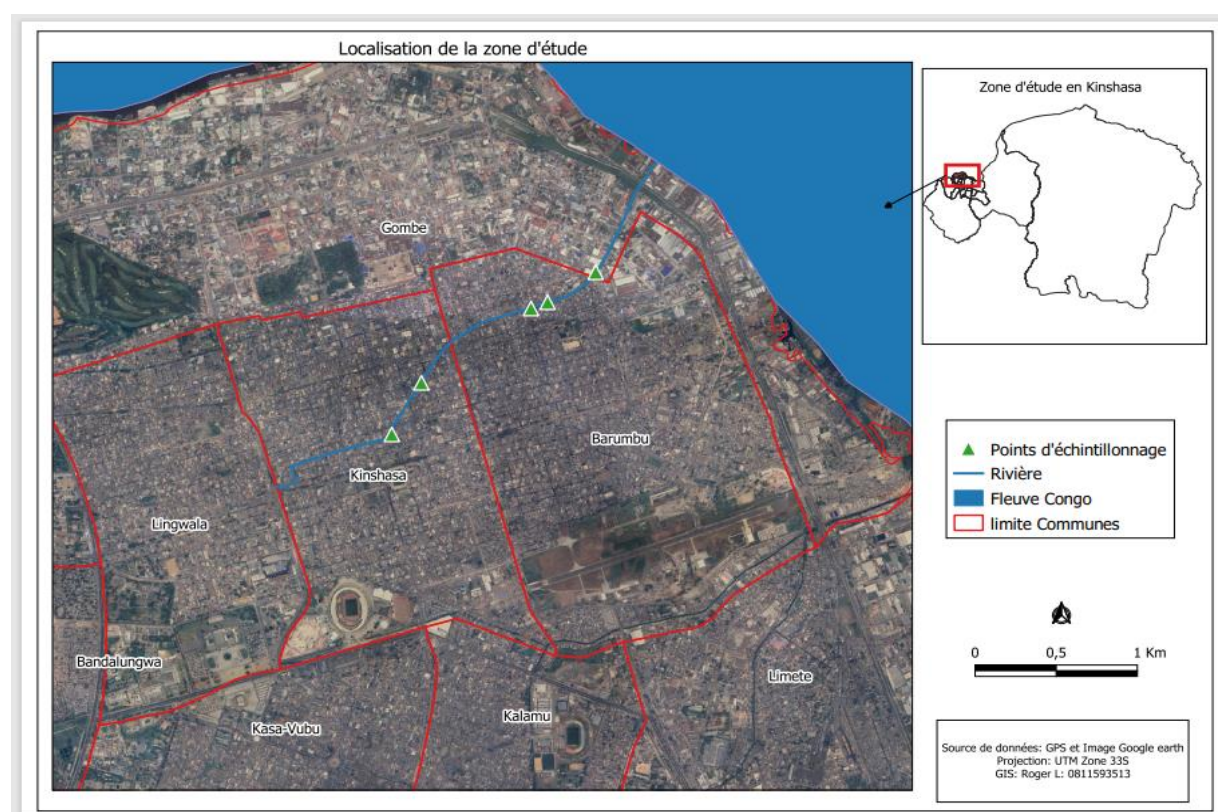


Figure 1. Localisation de la rivière Bitshaku-tshaku et les stations de prélèvement.

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.

2.2. Méthodes

Caractéristiques physico-chimiques des hydrosystèmes

Paramètres physiques

Quatre paramètres physiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku ont été mesurés *in situ* au niveau de chaque station d'échantillonnage. Il s'agit de la température de l'eau (°C), de la conductivité électrique à 20 °C (µS/cm), de la turbidité (exprimée en unités néphélométriques de turbidité, UNT) et du potentiel hydrogène (pH).

Ces paramètres ont été déterminés à l'aide d'une sonde multiparamètre portable de marque Hanna Instruments HI 9829, préalablement étalonnée selon les recommandations du fabricant. Les mesures *in situ* ont été privilégiées afin de limiter les modifications physico-chimiques susceptibles d'intervenir lors du transport des échantillons.

Paramètres chimiques

Les analyses des paramètres chimiques ont été réalisées au laboratoire du Commissariat Général à l'Énergie Atomique (CGEA/CREN-K) à partir des échantillons d'eau prélevés sur le terrain et conservés dans des conditions appropriées (flacons propres, transport en glacière à température contrôlée).

Les concentrations des principaux ions et nutriments ont été déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre HACH DR/2400, selon les méthodes colorimétriques standardisées. Les paramètres analysés comprennent : le calcium (Ca^{2+} , mg/L), les chlorures (Cl^- , mg/L), l'ammonium (NH_4^+ , mg/L), les nitrites (NO_2^- , mg/L), les nitrates (NO_3^- , mg/L), les orthophosphates (PO_4^{3-} , mg/L) et les sulfates (SO_4^{2-} , mg/L).

Avant analyse, les échantillons d'eau ont été filtrés à l'aide de papiers filtres de marque StonyLab, présentant un diamètre de pores de 50 µm, afin d'éliminer les matières en suspension susceptibles d'interférer avec les mesures. Les réactifs

spécifiques à chaque paramètre ont ensuite été ajoutés conformément aux protocoles du fabricant, puis les longueurs d'onde appropriées ont été sélectionnées à partir des programmes préenregistrés du spectrophotomètre HACH.

La Demande Biologique en Oxygène sur cinq jours (DBO_5 , mg/L) a été déterminée selon la méthode standard d'incubation en enceinte thermostatée pendant cinq jours à 20 °C, à l'abri de la lumière et de l'air. La Demande Chimique en Oxygène (DCO , mg/L) a été évaluée selon les méthodes normalisées correspondantes. Les mesures de l'oxygène dissous utilisées pour le calcul de la DBO_5 ont été réalisées à l'aide d'un oxymètre de marque YSI ProODO, garantissant une précision élevée des concentrations en oxygène.

Analyse des éléments traces métalliques (ETM)

Les concentrations en métaux lourds (Pb, Cd, Ni, Fe, Zn et Cu) ont été déterminées après digestion acide des échantillons selon les méthodes standard (APHA, 2017). L'analyse a été réalisée par spectrophotométrie (ou spectrométrie d'absorption atomique, selon disponibilité), permettant de quantifier les concentrations en mg/L. Les résultats obtenus ont été comparés aux normes internationales de qualité des eaux (OMS, USEPA) afin d'évaluer le niveau de contamination métallique.

Calcul de l'Indice de Pollution Organique (IPO)

L'Indice de Pollution Organique (IPO) a été utilisé pour évaluer le degré de pollution organique des eaux de la rivière Bitshaku-Tshaku (Tableau 1). Cet indice repose sur quatre paramètres principaux : ammonium (NH_4^+), nitrites (NO_2^-), Demande Biologique en Oxygène (DBO_5) et oxygène dissous (O_2). Chaque paramètre est attribué à une classe de qualité variant généralement de 1 (très forte pollution) à 5 (faible pollution), selon les seuils définis par Leclercq et Maquet (1987). L'IPO est calculé comme la moyenne des classes attribuées aux quatre paramètres :

$$\text{IPO} = \frac{C_{\text{NH}_4} + C_{\text{NO}_2} + C_{\text{DBO}_5} + C_{\text{O}_2}}{4} \quad \text{où } C_i$$

représente la classe de qualité associée à chaque paramètre.

Tableau 1. Interprétation de l'Indice de la Pollution Organique

Valeur IPO	Qualité de l'eau	Niveau de pollution
4,6 – 5	Très bonne	Faible
4,0 – 4,5	Bonne	Faible à modérée
3,0 – 3,9	Moyenne	Modérée
2,0 – 2,9	Mauvaise	Forte
1,0 – 1,9	Très mauvaise	Très forte

Analyse statistique des données

Les données ont été traitées à l'aide du logiciel PAST version 4.03. Le test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer les variations des paramètres physico-chimiques entre les stations, avec un seuil de significativité fixé à $p < 0,05$.

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à partir d'une matrice de données comprenant les paramètres physico-chimiques mesurés aux différentes stations. Les données ont été préalablement standardisées afin de neutraliser l'effet des différences d'unités. Les deux premiers axes expliquent une proportion importante de la variance totale, permettant d'identifier les principaux gradients environnementaux et les sources potentielles de pollution.

3. RESULTATS

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

Le tableau 2 renseigne les variations des paramètres physiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku en saison pluvieuse 2025.

Tableau 2. 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)	28,10	28,50	29,20	28,00	27,60	27,30	28,10±0,67
Cond (µS/cm)	658,00	680,00	733,00	687,00	675,00	600,00	672,00±43,40
Turb (UNT)	51,08	55,32	56,65	50,55	56,26	57,28	54,50±2,95
pH	6,89	6,75	6,67	6,82	7,02	7,50	6,94±0,30

Il ressort du tableau 2 que la température de l'eau a fluctué entre 27,30 °C (station VI) et 29,20 °C (station III), avec une valeur moyenne de $28,10 \pm 0,67$ °C, traduisant des conditions thermiques relativement homogènes caractéristiques des hydrosystèmes tropicaux. La conductivité électrique a varié de 600,00 µS/cm (station VI) à 733,00 µS/cm (station III), pour une moyenne de $672,00 \pm 43,40$ µS/cm, indiquant une minéralisation relativement élevée des eaux. La turbidité a oscillé entre 50,55 UNT (station IV) et 57,28 UNT (station VI), avec une moyenne de $54,50 \pm 2,95$ UNT, reflétant une charge importante en matières en suspension durant la période d'étude.

Le pH a présenté des valeurs comprises entre 6,67 (station III) et 7,50 (station VI), avec une moyenne de $6,94 \pm 0,30$, traduisant 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 ($H = 0,12$; $p > 0,05$), suggérant une relative homogénéité spatiale des caractéristiques physiques de cet hydrosystème au cours de la période considérée.

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 en saison pluvieuse 2025 sont consignées dans le tableau 2.

Tableau 2. 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	57,2	60,45	62,01	56,43	58,89	63,4	59,70±2,73
NH ₄ ⁺	0,12	0,11	0,11	0,1257	0,16	0,14	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±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	12,8	18,94	21,76	17,80±4,84
Ca ²⁺	4,19	3,84	3,763	3,674	4,824	4,196	4,08±0,43

Le tableau 3.2 présente les variations des paramètres chimiques de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku au cours de la saison pluvieuse 2025–2026. La concentration en oxygène dissous a fluctué entre 2,17 mg/L (station 1) et 2,38 mg/L (station 5), avec une moyenne de $2,27 \pm 0,08$ mg/L, traduisant des conditions globalement hypoxiques dans l'ensemble de l'hydrosystème.

La demande biologique en oxygène sur cinq jours (DBO_5) a enregistré des valeurs comprises entre 38,84 mg/L (station I) et 46,12 mg/L (station 6), avec une moyenne de $42,1 \pm 2,5$ mg/L, indiquant une forte charge en matière organique biodégradable. De même, la demande chimique en oxygène (DCO) a varié de 56,43 mg/L (station 4) à 63,4 mg/L (station 6), pour une moyenne de $59,7 \pm 2,73$ mg/L, traduisant une importante charge organique totale.

Les formes azotées ont également présenté des concentrations élevées. L'ammonium (NH_4^+) a oscillé entre 0,1127 mg/L (station 3) et 0,1615 mg/L (station 5), avec une moyenne de $0,13 \pm 0,02$ mg/L, tandis que les nitrites (NO_2^-) ont varié de 0,052 mg/L (station I) à 0,0716 mg/L (station 5), avec une moyenne de $0,06 \pm 0,01$ mg/L. Les nitrates (NO_3^-) ont affiché des valeurs particulièrement élevées, comprises entre 289,48 mg/L (station 2) et 394,2 mg/L (station 1), avec une moyenne de $353 \pm 47,1$ mg/L, suggérant une forte pollution d'origine anthropique.

Les orthophosphates (PO_4^{3-}) ont présenté des concentrations comprises entre 21,83 mg/L (station 4) et 57,3 mg/L (station I), avec une moyenne de $41,4 \pm 15,2$ mg/L, traduisant un enrichissement important en nutriments susceptibles de favoriser des phénomènes d'eutrophisation. Les sulfates (SO_4^{2-}) ont varié de 12,4 mg/L (station 3) à 24,49 mg/L (station 2), pour une moyenne de $17,8 \pm 4,84$ mg/L.

Enfin, la concentration en calcium (Ca^{2+}) a oscillé entre 3,674 mg/L (station 4) et 4,824 mg/L (station 6), avec une moyenne de $4,08 \pm 0,43$ mg/L, indiquant une contribution modérée à la minéralisation globale de l'eau. 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 ($H = 0,22$; $p > 0,05$), suggérant une homogénéité spatiale des conditions chimiques le long du gradient longitudinal de la rivière durant la période d'étude.

Eléments traces métalliques dans l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku

Les variations des éléments traces métalliques dans l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku en saison pluvieuse 2025-2026 sont consignées dans le tableau 3.

Tableau 3. Variations des éléments traces métalliques dans l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku en saison pluvieuse 2025

ETM (mg/L)	Stations						Moyenne
	1	2	3	4	5	6	
Plomb	0,81	0,11	0,76	0,70	0,33	0,80	$0,59 \pm 0,29$
Cadmium	0,37	0,36	0,17	0,16	0,37	0,38	$0,31 \pm 0,10$
Nickel	0,48	0,37	0,07	0,69	0,43	0,44	$0,41 \pm 0,20$
Fer	19,2	37,00	0,39	3,92	3,71	9,01	$12,2 \pm 13,80$
Zinc	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	$0,02 \pm 0,01$
Cuivre	0,09	0,20	18,00	1,68	1,20	0,59	$3,63 \pm 7,07$

Le tableau 3 présente les concentrations des éléments traces métalliques (ETM) mesurées dans les eaux de la rivière Bitshaku-Tshaku au cours de la période d'étude. Le plomb (Pb) a montré des concentrations élevées, variant de 0,11 mg/L (station II) à 0,81 mg/L (station 1), avec des valeurs intermédiaires observées aux stations 3 (0,761 mg/L) et 4 (0,70 mg/L), et une valeur relativement élevée également à la station VI (0,80 mg/L). La concentration moyenne en plomb s'établit à $0,59 \pm 0,29$ mg/L, traduisant une contamination significative de l'hydrosystème.

Le cadmium (Cd) a présenté des variations relativement faibles entre les stations, avec des valeurs comprises entre 0,16 mg/L (station 4) et 0,38 mg/L (station 6), pour une moyenne de $0,31 \pm 0,10$ mg/L, indiquant une distribution relativement homogène de ce métal.

Le nickel (Ni) a affiché une forte variabilité spatiale, avec une concentration minimale de 0,07 mg/L (station 3) et maximale de 0,69 mg/L (station 4), pour une moyenne de $0,41 \pm 0,20$ mg/L, suggérant des apports localisés de ce contaminant.

Le fer (Fe) s'est distingué par des concentrations particulièrement élevées, avec un maximum de 37,00 mg/L enregistré à la station II, contrastant fortement avec les autres stations, et une moyenne globale de $12,20 \pm 13,80$

mg/L, révélant une forte hétérogénéité spatiale. Le zinc (Zn) a présenté de faibles concentrations, relativement homogènes, variant entre 0,01 mg/L (station 3) et 0,03 mg/L (stations 1 et 6), avec une moyenne de $0,02 \pm 0,01$ mg/L.

Enfin, le cuivre (Cu) a montré une variabilité marquée, caractérisée par une concentration maximale exceptionnelle de 18,00 mg/L à la station 3, tandis que la valeur minimale a été observée à la station 2 (0,20 mg/L). La concentration moyenne en cuivre s'élève à $3,63 \pm 7,07$ mg/L, traduisant une distribution très hétérogène et la présence probable de sources ponctuelles de contamination.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence une contamination notable de la rivière Bitshaku-Tshaku par plusieurs éléments traces métalliques, avec une variabilité spatiale marquée selon les stations, suggérant des apports d'origine anthropique différenciés le long du cours d'eau.

3.3. Evaluation de l'Indice de Pollution Organique de la rivière Bitshaku-Tshaku

Le tableau 4 présente l'Indice de Pollution Organique de la rivière Bitshaku-Tshaku en saison pluvieuse 2025.

Tableau 4. Evaluation de l'Indice de Pollution Organique de la rivière Bitshaku-Tshaku en saison pluvieuse 2025

Station	O ₂	DBO ₅	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	IPO	Qualité	Interprétation
1	2	1	4	3	2,5	Mauvaise	Pollution forte
2	2	1	4	3	2,5	Mauvaise	Pollution forte
3	2	1	4	3	2,5	Mauvaise	Pollution forte
4	2	1	4	3	2,5	Mauvaise	Pollution forte
5	2	1	4	3	2,5	Mauvaise	Pollution forte
6	2	1	4	3	2,5	Mauvaise	Pollution forte

Les valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) calculées pour l'ensemble des stations de la rivière Bitshaku-Tshaku sont identiques et s'élèvent à 2,5, indiquant une qualité d'eau globalement mauvaise et une pollution organique forte sur tout le parcours étudié.

Cette homogénéité des valeurs d'IPO traduit une pression anthropique diffuse et continue le long du cours d'eau, probablement liée aux rejets d'eaux usées domestiques et aux apports urbains non contrôlés. Les faibles concentrations en oxygène dissous associées aux fortes valeurs de DBO₅ constituent les principaux facteurs responsables de cette dégradation.

3.4. Analyse en Composantes Principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) réalisée sur les paramètres physico-chimiques de la rivière Bitshaku-Tshaku a permis de mettre en évidence les principaux gradients environnementaux structurant la qualité de l'eau. Les deux premiers axes expliquent à eux seuls 92,37 % de la variance totale, dont l'axe 1 (PC1) : 82,76 % et l'axe 2 (PC2) : 9,61 % (Figure 2).

Cette forte contribution de l'axe 1 indique que la variabilité des données est dominée par un **gradient principal unique**, traduisant un facteur environnemental majeur influençant la qualité de l'eau. L'axe 1 est fortement structuré par les orthophosphates ($r=+0,8484$), les sulfates ($r=+0,49628$), les nitrates ($r=-0,11518$) et la conductivité ($r=-0,089336$). Cet axe traduit principalement un gradient de pollution par les nutriments et les sels dissous. La forte contribution positive des phosphates a indiqué une influence marquée des rejets domestiques (détergents et eaux usées). Les sulfates ont participé également à ce gradient, suggérant des apports d'origine urbaine ou industrielle. La contribution négative des nitrates pourrait indiquer une distribution différente de ce paramètre, possiblement liée à des processus de transformation (nitrification/dénitrification).

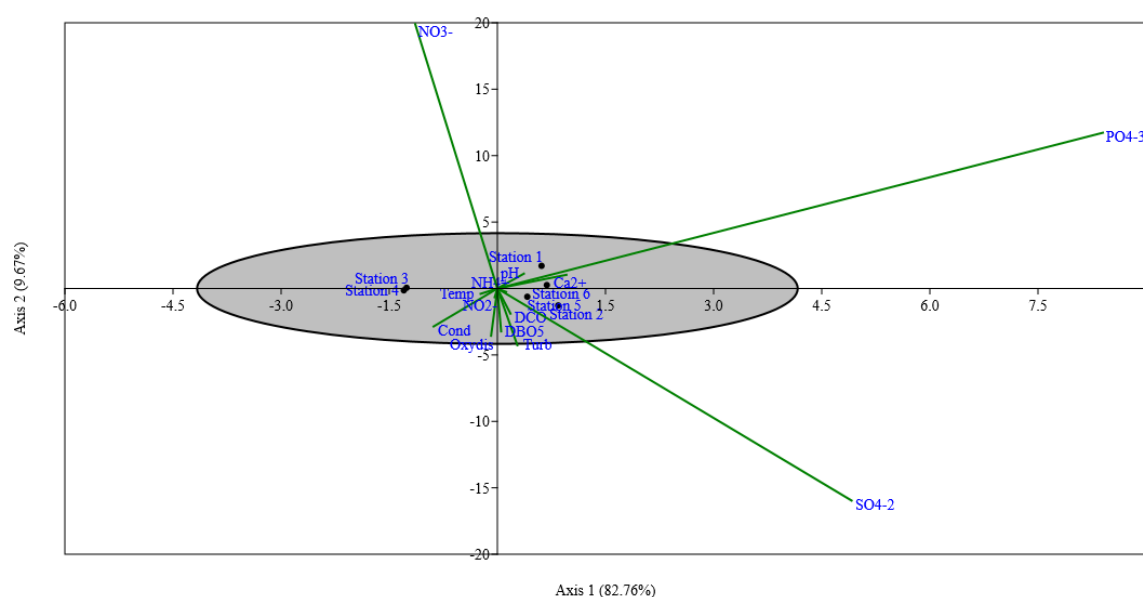


Figure 2. Analyse en Composantes Principales (ACP) des paramètres physico-chimiques de la rivière Bitshaku-Tshaku saison pluvieuse 2025

L'axe 2 est principalement influencé par les nitrates ($r = +0,68498$), les phosphates ($r = +0,40351$), les sulfates ($r = -0,54928$), la turbidité ($r = -0,14685$) et l'oxygène dissous ($r = -0,12227$). Cet axe met en évidence un gradient secondaire opposant d'une part, les eaux riches en nutriments (NO_3^- , PO_4^{3-}) et d'autre part, les eaux plus chargées en particules (turbidité) et pauvres en oxygène.

4. DISCUSSION

La rivière Bitshaku-Tshaku présente des caractéristiques physico-chimiques typiques des hydrosystèmes urbains tropicaux fortement anthropisés. La température relativement stable (27,3–29,2 °C) reflète les conditions climatiques tropicales et concorde avec les observations faites dans les cours d'eau tropicaux (Allan & Castillo, 2007 ; Kamb, 2018 ; Sisa *et al.*, 2022). Les faibles concentrations en oxygène dissous ($\approx 2,27$ mg/L), associées aux valeurs élevées de DBO_5 (≈ 42 mg/L) et de DCO (≈ 59 mg/L), traduisent une forte charge organique et une consommation accrue d'oxygène par les processus de dégradation biologique (Chapman, 1996). Ces valeurs sont caractéristiques des milieux recevant des rejets domestiques non traités (Metcalf & Eddy, 2003 ; Sisa *et al.*, 2022 ; Bashige *et al.*, 2025). Les concentrations très élevées en nutriments, notamment les nitrates et les orthophosphates, indiquent un enrichissement nutritif excessif, susceptible de favoriser des phénomènes d'eutrophisation (Wetzel, 2001). Ces apports sont généralement liés aux eaux usées domestiques et au ruissellement urbain (Meybeck *et al.*, 1996). L'absence de différences significatives entre les stations confirme une pollution diffuse,

typique des systèmes urbains où les sources de pollution sont multiples et continues (Allan, 2004).

Les concentrations élevées en plomb, cadmium et nickel observées dans cette étude témoignent d'une contamination métallique importante. Ces niveaux dépassent les seuils recommandés pour les eaux de surface et sont généralement associés aux activités anthropiques telles que les rejets industriels, le trafic urbain et la corrosion des infrastructures (WHO, 2017). La forte variabilité du fer et du cuivre suggère la présence de sources ponctuelles de pollution, probablement liées aux activités industrielles locales et aux installations portuaires (Förstner & Wittmann, 2012). Des observations similaires ont été rapportées dans d'autres cours d'eau urbains africains (Nyenje *et al.*, 2010). La contamination multi-métallique observée constitue un risque écotoxicologique majeur pour les organismes aquatiques, notamment en raison des effets bioaccumulatifs et synergiques de ces métaux (Rainbow, 2002).

Les valeurs de l'Indice de Pollution Organique (IPO) ont indiqué une mauvaise qualité d'eau ($\text{IPO} \approx 2,5$) confirmant une pollution organique élevée. Cette situation est cohérente avec les fortes valeurs de DBO_5 et les faibles concentrations en oxygène dissous, qui traduisent une surcharge en matière organique biodégradable (Leclercq & Maquet, 1987). La pollution organique observée est principalement liée aux rejets d'eaux usées domestiques non traitées, un phénomène fréquent dans les villes en développement (UNEP, 2016). La faible variation spatiale de l'IPO confirme le caractère diffus de cette pollution.

L'Analyse en Composantes Principales a mis en évidence un gradient principal de pollution nutritive, dominé par les orthophosphates et les sulfates, traduisant l'influence des activités anthropiques urbaines (Shrestha & Kazama, 2007). Le second axe reflète un gradient secondaire lié à la dynamique des nutriments et aux processus de dégradation organique. La faible contribution des paramètres organiques (DBO₅, NH₄⁺) a indiqué une homogénéité de la pollution, confirmant les résultats obtenus par l'IPO et les analyses statistiques.

Les résultats de cette étude ont mis en évidence une dégradation avancée de la qualité de l'eau, caractérisée par une pollution organique, une eutrophisation et une contamination métallique. Ces conditions entraînent une réduction de la biodiversité et favorisent les espèces tolérantes à la pollution (Bonada *et al.*, 2006). Par ailleurs, la présence de métaux lourds à des concentrations élevées représente un risque pour la santé humaine, notamment en cas d'exposition prolongée (WHO, 2017).

5. CONCLUSION

La présente étude consacrée à la rivière Bitshaku-Tshaku a permis de caractériser de manière intégrée la qualité de ses eaux à travers l'analyse des paramètres physico-chimiques, des éléments traces métalliques et de l'indice de pollution organique (IPO). Les résultats obtenus indiquent une dégradation avancée de la qualité de l'eau de la rivière Bitshaku-Tshaku, caractérisée par de faibles concentrations en oxygène dissous et des valeurs élevées de DBO₅ et de DCO, traduisant une forte charge en matière organique biodégradable. Les concentrations élevées en nutriments, notamment les nitrates et les orthophosphates, témoignent d'un enrichissement excessif du milieu, susceptible de conduire à des phénomènes d'eutrophisation.

L'analyse des éléments traces métalliques révèle une contamination significative par plusieurs métaux lourds, en particulier le plomb, le cadmium, le nickel et le cuivre, dont les concentrations dépassent les seuils recommandés pour les eaux de surface. Cette contamination traduit l'influence des activités anthropiques, notamment les rejets domestiques, les effluents urbains et les activités industrielles observées le long du cours d'eau.

L'évaluation de la pollution organique à l'aide de l'IPO a montré une qualité d'eau globalement mauvaise sur l'ensemble des stations, avec une pollution organique forte et relativement homogène. Les résultats de l'Analyse en Composantes Principales confirment que la variabilité des paramètres est dominée par un gradient de pollution nutritive d'origine anthropique, associé à une contamination diffuse.

Ainsi, la rivière Bitshaku-Tshaku apparaît comme un hydrosystème fortement dégradé, soumis à une pression anthropique continue. Cette situation compromet non seulement l'équilibre écologique du milieu, mais représente également un risque potentiel pour la santé des populations riveraines.

Au regard de ces résultats, il apparaît indispensable de mettre en œuvre des mesures urgentes de gestion environnementale, notamment : la mise en place de systèmes de traitement des eaux usées, le contrôle des rejets domestiques et industriels, la sensibilisation des populations à la protection des ressources en eau et le suivi régulier de la qualité des eaux.

Références

- Allan J. D., 2004. Landscapes and riverscapes: The influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 35, 257–284.
- Allan J. D. & Castillo M. M., 2007. *Stream ecology: Structure and function of running waters* (2nd ed.). Springer, 436 p.
- Apha, 2017. *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association, 1796 p.
- Bonada N., Prat N., Resh V. H. & Statzner B., 2006. Developments in aquatic insect biomonitoring. *Annual Review of Entomology*, 51, 495–523.
- Chapman D., 1996. *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP, 652 p.
- Förstner U. & Wittmann G. T. W., 2012. *Metal pollution in the aquatic environment*. (2nd ed.). Springer, 512 p.
- Jaishankar M., Tseten T., Anbalagan N., Mathew B. B. & Beeregowda K. N., 2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7(2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
- Leclercq L. & Maquet B., 1987. *Deux nouveaux indices chimique et diatomique de qualité d'eau courante. Application au Samson et à ses affluents (Belgique). Comparaison avec d'autres indices chimiques, biocénétiques et diatomiques*. Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, 113 p.
- Metcalf & Eddy, 2003. *Wastewater engineering: Treatment and reuse* (4th ed.). McGraw-Hill, 1819 p.
- Meybeck M. & Helmer R., 1989. The quality of rivers: From pristine stage to global pollution. *Global and Planetary Change*, 1(4), 283–309. [https://doi.org/10.1016/0921-8181\(89\)90007-6](https://doi.org/10.1016/0921-8181(89)90007-6)
- Meybeck M., Chapman, D. & Helmer, R., 1996. *Global freshwater quality: A first assessment*. Blackwell, 306 p.
- Nyenje P. M., Foppen, J. W. A., Kulabako, R., Uhlenbrook, S., & Snelder, D., 2010. Nutrient pollution in shallow aquifers underlying pit latrines and domestic

solid waste dumps in urban slums. *Science of the Total Environment*, 408(23), 6171-6178.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2017. *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). World Health Organization, 500 p.

Rainbow P. S., 2002. Trace metal concentrations in aquatic invertebrates: Why and so what? *Environmental Pollution*, 120(3), 497-507.

Shrestha S. & Kazama F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques. *Environmental Modelling & Software*, 22(4), 464-475.

Simeonov V., Stratis J. A., Samara C., Zachariadis G., Voutsas D. *et al.*, 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. *Water Research*, 37(17), 4119-4124. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00398-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00398-1)

Tchounwou P. B., Yedjou C. G., Patlolla A. K. & Sutton D. J. 2012. Heavy metal toxicity and the environment.

EXS, 101, 133-164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6

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

USEPA (United States Environmental Protection Agency), 2002. *Methods for measuring the toxicity and bioaccumulation of sediment-associated contaminants*. United States Environmental Protection Agency, 192 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>

Wetzel R. G., 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems* (3rd ed.). Academic Press, 1006 p.

WHO (World Health Organization), 2017. *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.), 618 p.