Revue Africaine d'Environnement et d'Agriculture
http://www.rafea-congo.com
2026 ; 9(2), 401-413
ISSN (Print) : 2708-7743 **eISSN** : 2708-5422 **Dépôt légal** : JL 3.01807-57259

Analyse spatio-temporelle de l'impact des activités anthropiques sur la qualité physico-chimique des eaux de la rivière N'djili à Kinshasa (RDC)

Roger Kalonga Kalonga[1*], Eric Tshitende Kakanda[1], Joël Mangana Ikoko[3], Josué Ausse Baraka[1], Divin Ntuku Tuma[1], Daniel-Bienvenu Sifa Kwa Mungu[2], Claude Kachaka Sudi[1]

[(1)]Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Gestion des Ressources Naturelles. BP 117 Kinshasa XI (RDC). E-mail : rogerkalonga163@gmail.com
[(2)]Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement, Mention Chimie et Industries Agricoles. BP 117 Kinshasa XI (RDC)
[(3)]Université de Kinshasa. Faculté des Sciences Agronomiques et Environnement. Mention Production Animale. BP 117 Kinshasa XI (RDC).

Reçu le 08 mai 2026, **accepté le** 23 juin 2026, **publié en ligne le** 27 juin 2026
DOI : https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i2.38

RESUME

Description du sujet. La croissance démographique et l'urbanisation rapide de Kinshasa exercent une pression croissante sur les ressources en eau, notamment la rivière N'djili, principale source d'approvisionnement en eau potable de cette mégalopole.
Objectif. Cette étude vise à analyser, selon une approche spatio-temporelle, l'impact des activités anthropiques et de l'occupation du sol sur la qualité physico-chimique de ses eaux.
Méthodes. La méthodologie repose sur une approche intégrée combinant l'analyse de données historiques (2016 et 2021), des mesures de terrain réalisées en mars 2026 sur neuf points répartis en amont, milieu et aval, ainsi qu'une enquête auprès de 30 riverains. Les paramètres physico-chimiques ont été mesurés et l'indice de qualité de l'eau (IQE) calculé. Des analyses statistiques (ANOVA, corrélation de Pearson et ACP) ont été réalisées.
Résultats. Les résultats montrent une dégradation significative de la qualité de l'eau de l'amont vers l'aval, marquée par une augmentation de la turbidité, de la conductivité, des matières en suspension. Les valeurs de la turbidité et des matières en suspension dépassent largement les normes de l'OMS. L'IQE classe l'eau comme impropre à la consommation sur l'ensemble du tronçon étudié. L'ACP met en évidence un gradient de pollution dominé par les activités anthropiques (rejets domestiques, agriculture et ruissellement urbain). L'analyse diachronique confirme une dégradation progressive entre 2016 et 2026.
Conclusion. La qualité physico-chimique des eaux de la rivière N'djili est fortement altérée par les pressions anthropiques. Une gestion intégrée, incluant des mesures d'assainissement, de sensibilisation et de suivi environnemental, est indispensable pour préserver cette ressource essentielle.

Mots-clés : Pollution, contamination, paramètres, indice de qualité, gestion des déchets/Kinshasa.

ABSTRACT

Spatio-temporal analysis of the impact of human activities on the physico-chemical quality of the waters of the N'djili river in Kinshasa (DRC)
Description of the subject. Population growth and rapid urbanization in Kinshasa are putting increasing pressure on water resources, particularly the N'djili River, the main source of drinking water for this megalopolis.
Objective. This study aims to analyze, using a spatio-temporal approach, the impact of human activities and land use on the physico-chemical quality of its waters.
Methods. The methodology is based on an integrated approach combining the analysis of historical data (2016 and 2021), field measurements taken in March 2026 at nine points distributed upstream, mid-water, and downstream, and a survey of 30 local residents. Physicochemical parameters were measured, and the water quality index (WQI) was calculated. Statistical analyses (ANOVA, Pearson correlation and PCA) were performed.
Results. The results show a significant degradation of water quality from upstream to downstream, marked by an increase in turbidity, conductivity, and suspended solids. Turbidity and suspended solids levels far exceed WHO standards. The Water Quality Index (WQI) classifies the water as unfit for consumption along the entire studied section. Principal component analysis (PCA) highlights a pollution gradient dominated by human activities

(domestic wastewater, agriculture, urban runoff). The diachronic analysis confirms a progressive degradation between 2016 and 2026.
Conclusion. The physico-chemical quality of the N'djili River waters is severely compromised by human activity. Integrated management, including sanitation measures, awareness campaigns, and environmental monitoring, is essential to preserve this vital resource.

Keywords: Pollution, contamination, parameters, quality index, Waste management/Kinshasa

1. INTRODUCTION

Kinshasa connaît une croissance démographique et une urbanisation rapides qui exercent une forte pression sur les ressources naturelles, en particulier sur les eaux de surface (Kakundika *et al*., 2022). L'expansion des zones bâties, l'intensification de l'agriculture périurbaine et l'augmentation des rejets domestiques et industriels modifient l'occupation du sol et perturbent les processus hydrologiques. Ces changements favorisent le ruissellement anarchique des eaux et l'érosion, accroissant le transport de polluants vers les cours d'eau et détériorant la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux (Allan, 2004 ; Foley *et al*., 2005 ; Seto *et al*., 2012 ; United Nations Environment Programme, 2016).

La rivière N'djili est l'une des principales sources d'approvisionnements en eau potable de la ville de Kinshasa à travers la REGIDESO (Kakundika *et al*., 2022). Plusieurs études signalent une dégradation progressive de sa qualité en lien avec les activités anthropiques, notamment des concentrations élevées en métaux lourds, nutriments et indicateurs bactériologiques (Mubedi *et al*., 2013 ; Mwanamoki *et al*., 2015 ; Kakundika *et al*., 2022). Des pratiques observées dans le bassin versant de cette rivière, notamment des jardins maraîchers utilisant des déjections animales non traitées, des rejets non planifiés d'eaux usées et de l'usage excessif des engrais et pesticides accentuent sa contamination (Kakundika *et al*., 2022). Selon WHO (2017), cette détérioration représente un risque majeur pour la santé publique, surtout dans les zones urbaines à forte densité. D'après Falanga *et al.* (2018), Kinshasa n'échappe pas aux problèmes des pollutions d'origines diverses à cause du manque d'hygiène généralisée de la population, aussi bien sur le plan individuel que collectif. Quotidiennement, au moins 10.000 tonnes des déchets solides sont générées à Kinshasa.

Malgré des travaux sur la pollution urbaine à Kinshasa (Mukwita *et al*., 2023 ; Sifa *et al*., 2024), les analyses de qualité de l'eau restent souvent ponctuelles et limitées spatialement ou temporellement. Elles intègrent insuffisamment l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol, pourtant déterminante pour la dynamique de pollution des bassins versants (Jensen, 2015 ; Lillesand *et al*., 2015). L'imperméabilisation liée à l'urbanisation augmente le ruissellement et le transport de polluants vers les rivières ; l'insuffisance des infrastructures d'assainissement locales aggrave le problème en favorisant les déversements directs (Paul & Meyer, 2001 ; UNEP, 2016).

L'agriculture périurbaine, essentielle à la sécurité alimentaire et aux revenus des ménages, dépend de ces ressources hydriques. L'utilisation d'eaux contaminées pour l'irrigation peut compromettre la qualité sanitaire des produits, dégrader les sols et exposer les agriculteurs et consommateurs à des risques sanitaires (Zezza & Tasciotti, 2010 ; Van Vliet *et al*., 2013). Ainsi, le déficit majeur identifié est le manque d'une compréhension intégrée reliant : (i) l'évolution de l'occupation du sol, (ii) les pressions anthropiques et (iii) la variabilité spatio-temporelle de la qualité des eaux. L'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol et des activités humaines dans le bassin de la N'djili peut influencer la qualité de ses eaux.

Par conséquent, une approche intégrée combinant : (i) l'exploitation des données historiques de qualité d'eau de la REGIDESO et (ii) des mesures ponctuelles de terrain, est nécessaire pour appréhender la relation entre l'évolution de l'occupation du sol et dynamique de la qualité de l'eau dans le bassin de la rivière N'djili.
Cette étude vise à analyser, selon une approche spatio-temporelle, l'impact des activités anthropiques sur la qualité physico-chimique des eaux de la rivière N'djili afin d'orienter une gestion durable des ressources en eau destinées à l'alimentation urbaine.

L'intérêt de cette recherche réside dans sa contribution à la compréhension intégrée de la dégradation de la qualité des eaux de la rivière N'djili, un système hydrique stratégique pour l'alimentation en eau potable et les activités agricoles périurbaines de Kinshasa. Par ailleurs, les résultats obtenus constituent une base scientifique pertinente pour améliorer les stratégies de gestion durable des bassins versants et contribuer à la réduction des risques sanitaires associés à la pollution hydrique.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

La partie urbaine du bassin versant de la rivière N'djili, située dans la ville de Kinshasa, représente

environ 625 km^2, soit 31,2 % de l'ensemble du bassin versant (Figure 1). Cette partie urbaine est localisée entre 15°9' et 15°18' de longitude est, et 4°22' et 4°37' de latitude sud (Luboya, 2002 ; Ndolo, 2015 ; UNEP 2016). Elle joue un rôle important dans l'approvisionnement de la ville en eau potable, notamment à travers les installations de la REGIDESO, ce qui rend la question de sa qualité particulièrement sensible.

Dans le cadre de cette étude, un périmètre a été délimité à l'intérieur du cours inférieur du bassin. Ce périmètre s'étend de la zone la moins peuplée avec peu d'activités anthropiques en amont (S1), en passant par la zone médiane (S2), jusqu'à la zone densément peuplée en aval (S3) couvrant sur son passage les communes de Matete, Limete, Masina et N'djili (vers le pont N'djili). Les points d'échantillonnage ont été identifiés en fonction des sources potentielles de pollution le long de la rivière, à l'intérieur du périmètre défini. Neuf points de prélèvement ont été sélectionnés pour cette étude (S1 à S3).

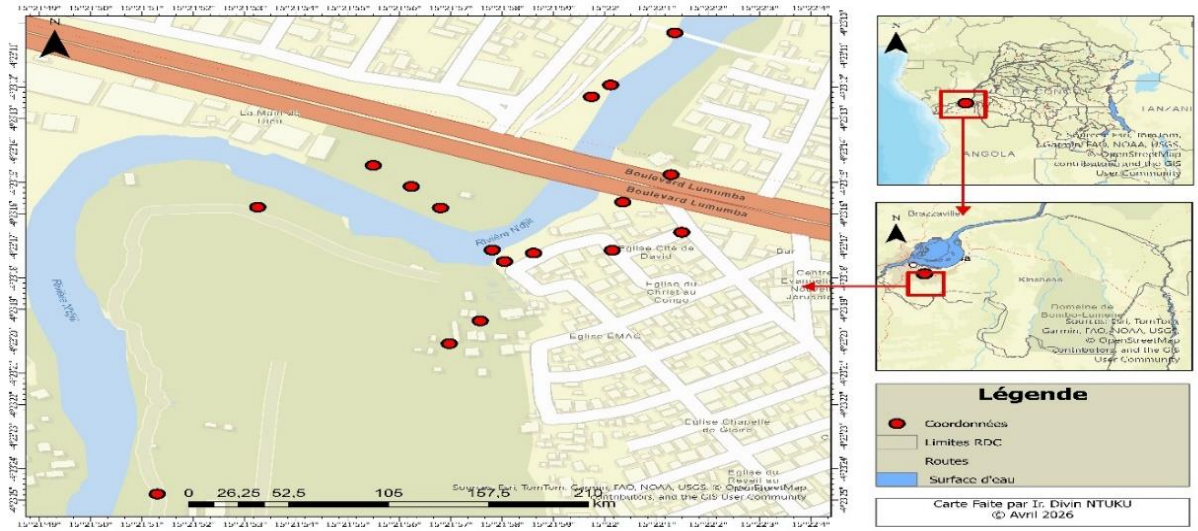


Figure 1. Carte de la zone d'étude sur la rivière N'djili

Coordonnées géographiques des points de prélèvement

Le Tableau 1 présente les coordonnées géographiques, les communes ainsi que les observations des points de prélèvement des échantillons d'eau.

Tableau 1. Coordonnées géographiques des sites de prélèvement

Point de prélèvement		Longitude Est	Latitude Sud	Commune	Observation
AMONT	**S1**	15,364200°	4,390500°	N'dijli	Zone faiblement impactée
	S1	15,364300°	4,390300°	N'dijli	Activités agricoles
	S1	15,364400°	4,390100°	N'dijli	Début pression humaine
MILIEU	**S2**	15,364800°	4,388500°	N'dijli	Le long du site maraicher de la N'djili
	S2	15,364900°	4,388000°	N'dijli	Activités domestiques
	S2	15,365000°	4,387700°	N'dijli	Rejets multiples
AVAL	**S3**	15,366500°	4,386800°	Limete	Accumulation pollution
	S3	15,366800°	4,386500°	Limete	Forte urbanisation
	S3	15,367100°	4,386200°	Limete	Zone très dégradée

2.2. Matériel de terrain et de laboratoire

Les paramètres physico-chimiques (pH, Turbidité, Conductivité, Nitrates et Température) de l'eau de la rivière N'djili ont été mesurés in situ au moyen d'un appareil de mesure de marque HANNA (turbidité, Nitrates et Conductivité mètre). La sonde multiparamétrique mesurant le pH, la température et les matières en suspension (MES) a été également utilisée. Les logiciels statistiques ont été essentiels pour traiter et analyser les données collectées, intégrant les mesures physico-chimiques et d'autres données historiques pour atteindre les objectifs de l'étude. Le GPS de marque GARMIN-GPSMAP 64s a été utile pour les coordonnées géographiques.

2.3. Échantillonnage et analyse des eaux

Pour bien réaliser cette étude, trois parties de cette rivière ont été retenues pour le prélèvement des échantillons. Le choix des points de prélèvement a été effectué de manière à couvrir l'ensemble du périmètre choisi de la rivière suivant les sources

potentielles de pollution. Comparativement entre elles, une partie était située en amont, une au milieu et une dernière en aval. Les coordonnées géographiques et autres informations relatives à ces trois zones sont données dans le Tableau 1 (coordonnées géographiques, communes, et observations). Les prélèvements d'échantillons ont été effectués en mars 2026. Ils ont été effectués en surface à une profondeur d'environ 20 cm et ont été faits d'amont en aval dans le sens d'écoulement des eaux (Luboya, 2002 ; Rodier *et al.,* 2005). Les échantillons d'eaux ont été prélevés dans neuf (9) flacons en plastique à raison de trois (3) échantillons en amont, trois (3) au milieu et trois (3) autres en aval, pour la détermination des paramètres physico-chimiques (pH, Turbidité, Conductivité, Nitrates, Matière en Suspension, Température). Ceux-ci ont été d'abord rincés une fois avec l'eau du savon puis trois fois avec l'eau à analyser avant leur remplissage proprement dit.

Les flacons ainsi remplis ont été soigneusement refermés, étiquetés, conservés dans une glacière, puis transportés vers l'endroit prévu pour les analyses (Chapman, 1996 ; Luboya, 2002). Ces prélèvements ponctuels d'échantillons d'eau ont été réalisés sur des sites représentatifs (amont, zone médiane et aval) de la rivière N'djili. Les données ainsi récoltées étaient destinées à compléter les informations existantes, c'est-à-dire, la base des données sur la qualité de l'eau de cette rivière, constituée par la REGIDESO (Entreprise nationale ayant la charge de la distribution de l'eau potable à la population), durant la période 2016-2021.
En marge des prélèvements des échantillons d'eau de la rivière N'djili, une enquête a été menée auprès de la population riveraine vivant proches des points de prélèvement des échantillons.

2.4. Méthode d'enquête

L'enquête réalisée a permis d'approfondir les recherches et avoir une idée sur les différents usages des eaux de la rivière N'djili. Elle a été effectuée du 16 février au 18 mars 2026. Le type d'enquête appliqué était par questionnaire où ce dernier comportait des questions sur l'utilisation de l'eau de la rivière, la pollution de l'eau et sa gestion. Elle a été réalisée de l'amont en aval sur un échantillonnage de 30 individus repartis en trois parties de prélèvements.

2.5. Calcul d'indice de qualité (IQE)

Dans cette étude, l'indice de qualité de l'eau (IQE) a été calculé pour estimer l'influence des facteurs naturels et anthropiques sur base de plusieurs paramètres clés des eaux de surface de la rivière N'djili. Cet indice a été calculé en suivant la méthode de l'indice arithmétique pondéré (Chatterji et Raziuddin, 2002 ; Yidana et Yidana, 2010).

Dans cette approche, une valeur numérique appelée poids relatif (Wi), spécifique à chaque paramètre physico-chimique, est calculée selon la formule suivante :
$Wi = K/Si$ (1)
Avec :
k : constante de proportionnalité et peut également être calculée à l'aide de l'équation suivante :
$k=1/\Sigma(1/Si)$ (2)
Avec, **Si** : valeur maximale de la norme OMS (2017) des eaux de surface de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH, la Turbidité et la conductivité électrique.

Ensuite, une échelle d'évaluation de la qualité (Qi) a été calculée pour chaque paramètre en divisant la concentration maximale par la norme dudit paramètre et en multipliant l'ensemble par 100 comme dans la formule suivante :
$Qi = (Ci / Si) \times 100$ (3) Avec :
Qi : échelle d'évaluation de la qualité de chaque paramètre.
Ci : la concentration maximale de chaque paramètre en mg/l sauf pour le pH, la Turbidité et la conductivité électrique.
Finalement, l'indice global de la qualité de l'eau est calculé par l'équation suivante :
$IQE = \Sigma (Wi \times Qi)$ (4)

Le tableau 2 donne l'interprétation de l'Indice de Qualité de l'Eau.

Tableau 2. Interprétation de l'Indice de Qualité de l'Eau

IQE	Qualité
< 50	Excellente
50–100	Bonne
100–200	Mauvaise
200–300	Très mauvaise
> 300	Impropre à la consommation

Source : Sutadian *et al.* (2016)

2.6. Analyses Statistiques des données

La qualité physico-chimique de l'eau a été évaluée selon le guide d'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (François *et al.,* 2019). Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide des logiciels Statistix 8.0 et XLSTAT couplé à l'Excel afin d'effectuer l'analyse de variance (ANOVA), la moyenne et l'écart-type ainsi

que le test LSD pour déceler les différences significatives entre les valeurs moyennes de tous les paramètres mesurés. Une analyse de corrélation de Pearson a été effectuée afin d'évaluer les relations entre les paramètres physico-chimiques de l'eau, en utilisant le coefficient de corrélation linéaire (r) calculé à partir des données normalisées, avec un seuil de signification statistique fixé à $p < 0,05$, méthode largement utilisée dans les études de qualité des eaux (Kazi *et al*., 2009 ; Kumar et *al*., 2022). Ensuite, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée après standardisation des données, permettant de réduire la dimension des variables et d'identifier les principales sources de pollution (Shrestha & Kazama, 2007 ; Zhang *et al*., 2025). Les axes factoriels retenus sont ceux dont la variance cumulée dépasse 70 %, seuil couramment utilisé dans les études environnementales (Muniz & Oliveira-Filho, 2023 ; Zhang et *al.,* 2025).

3. RESULTATS

3.1. Profil, usages et perception des enquêtés sur les causes et conséquences de la pollution de la rivière N'djili

Les Tableaux 3, 4, 5 donnent la synthèse des résultats sur le profil, les usages et la perception des enquêtés sur les causes et conséquences de la pollution de la rivière N'djili.

Tableau 3. Profil des enquêtés

Profil des enquêtés		**Effectif**	**Fréquence (%)**
Genre	Masculin	17	56,7
	Féminin	13	43,3
Age	10 – 20 ans	2	6,7
	21 – 30 ans	14	46,7
	31 – 40 ans	7	23,3
	41 – 50 ans	6	20
	51 – 60 ans	1	3,3
Niveau d'étude	Sans instruction	18	60,0
	Étude primaire	5	16,7
	Étude secondaire	5	16,7
	Étude universitaire	2	7,0
Profession	Fonctionnaire de l'État	3	10,0
	Agent d'une société privée	3	10,0
	Commerçant	4	13,3
	Médecin	0	0,0
	Avocat	0	0,0
	Vétérinaire ou Agronome	4	13,3
	Étudiant	6	20,0
	Maraicher	8	26,7
	Chômeur	2	6,7
État civil	Célibataire	18	60,0
	Marié(e)	8	26,7
	Divorcé(e)	2	6,7
	Veuf (ve)	2	6,7

Le Tableau 3 indique que sur l'ensemble des enquêtés, les hommes représentaient 56,7 % de l'effectif. Concernant l'âge des enquêtés, la tranche dominante était celle qui se situe entre 21 à 30 ans. En outre, 60 % des enquêtés étaient sans instruction. S'agissant de la profession, les maraîchers ont été les plus nombreux, tandis que sur le plan matrimonial, une importante partie des répondants dans cette étude était constituée des célibataires.

Tableau 4. Utilisations des eaux de la rivière N'djili

UTILISATION		**Effectif**	**Fréquence (%)**
Connaissez-vous la rivière N'djili ?	OUI	30	100
Utilisez-vous l'eau provenant de cette rivière ?	OUI	27	90,0
	NON	3	10,0
Pour quels usages faites-vous de cette eau ?	Usage Agricole	20	74,1
	Usage Domestique	6	22,2

	Usage Industriel	1	3,7
Pour l'usage domestique, cette eau est utilisée précisément pour …	Eau de baignade	14	51,9
	Eau de cuisine	3	11,1
	Eau d'abreuvage d'animaux	2	7,4
	Eau de lessive	8	29,6
En considérant les trois questions précédentes, quelles sont les problèmes causés par l'usage de cette eau ?	Maladies toxiinfectieuses, maladies de peau	4	14,8
	Inondation dues aux immondices	17	63,0
	Mauvaise odeur	4	14,8
	Aucun problème	2	7,4
Utilisez-vous les engrais dans vos champs ?	OUI	14	66,7
	NON	7	33,3
Si oui, quel type d'engrais apportez-vous ?	NPK	8	57,1
	Urée	3	21,4
	Engrais organiques	3	21,4

Les résultats présentés dans le tableau 4 indiquent que, bien que la totalité des enquêtés (100,0 %) connaisse la rivière N'djili, seuls 90,0 % en utilisent effectivement l'eau. Parmi ces utilisateurs, 74,1 % exploitent cette ressource à des fins agricoles et pour la baignade. Concernant les contraintes liées à cet usage, l'étude révèle que 63,0 % des répondants identifient les inondations exacerbées par l'accumulation d'immondices comme le problème majeur. Enfin, le tableau souligne que 66,7 % des agriculteurs dépendant de ce cours d'eau ont recours aux engrais chimiques, le NPK étant le fertilisant le plus fréquemment utilisé.

Tableau 5. Niveau de connaissance sur la pollution et la gestion

Pollution et Gestion		**Effectif**	**Fréquence (%)**
Avez-vous déjà vu les gens jetés les déchets dans la rivière ?	OUI	28	93,3
	NON	2	6,7
Si oui, quel type de déchets ?	Bouteille plastique	15	53,6
	Feuille des arbres	3	10,7
	Déchets provenant des toilettes	4	14,3
	Déchets ménagers	6	21,4
Cette eau est importante pour vous ?	OUI	30	100,0
	NON	0	0,0
Et pourquoi ?	Nettoyage des engins (moto, etc.)	6	20,0
	L'eau de vaisselle	2	6,7
	Cuisine	2	6,7
	L'eau de boisson	1	3,3
	L'eau de lessive	6	20,0
	L'eau de baignade	4	13,3
	L'eau de distillation	1	3,3
	L'eau d'arrosage	7	23,3
	Abreuvage des animaux	1	3,3
Que recommandez-vous aux gens qui jettent des déchets dans l'eau ?	Arrêter de jeter	19	63,3
	Jeter les déchets à des endroits Appropriés	10	33,3
	Aucune recommandation	1	3,3
D'après-vous, quelles sont les raisons qui les poussent à jeter les déchets	Écoulement des déchets par le mouvement d'eau	3	10,0
	Manque de poubelle	12	40,0
	Manque d'installation hygiénique	3	10,0
	Manque de conscience	8	26,7
	Aucune raison	4	13,3
Que proposez-vous pour corriger le problème de pollution d'eau	Conscientiser la population	22	73,3
	Renforcer la sécurité	6	20,0
	Aucune proposition	2	6,7

Le tableau 5 indique que 93,3 % des enquêtés ont déjà observé des rejets de détritus dans la rivière N'djili. Il s'agit majoritairement de bouteilles en plastique, une situation attribuée à l'absence de poubelles publiques. Par ailleurs, l'ensemble des répondants (100 %) a souligné l'importance vitale de ce cours d'eau pour leurs activités quotidiennes, notamment pour l'irrigation des cultures, le nettoyage des engins (motos, véhicules, etc.) et les travaux ménagers comme la lessive.

3.2. Analyses physico-chimiques

Outre le recueil des avis et considérations de la population riveraine sur les causes et les conséquences de la pollution de la rivière N'djili à Kinshasa, ce travail de recherche a intégré une analyse physico-chimique d'échantillons d'eau. Ces prélèvements ont été effectués dans trois zones distinctes du périmètre d'étude : en amont, au milieu et en aval du cours d'eau. Les résultats de ces analyses sont synthétisés dans le Tableau 6.

Tableau 6. Valeurs des paramètres physico-chimiques dans les 3 zones de la rivière N'djili

Points	**SITES**	pH	Température	Turbidité	Conductivité	Nitrates	MES
		-	(°C)	(NTU)	(µS/Cm)	(mg/l)	(mg/l)
Amont	S1	$7,166^{b}$±0,28	25±0,81	$68,96^{a}$±4,43	224±3,29	12^{c}±0,81	$26,66^{c}$±1,24
Milieu	S2	$6,96^{b}$±0,47	25±0,23	$77,1^{a}$±0,66	301,67±5,45	$19,33^{a}$±1,24	$35,33^{b}$±1,24
Aval	S3	$8,46^{a}$±0,12	25±0,84	$83,3^{b}$±1,31	365±14,71	$16,66^{b}$±0,47	$56,33^{a}$±1,69

Légende : pH : Potentiel d'Hydrogène ; MES : Matière en suspension, mg/L : milligramme par litre, NTU : Nephelometric turbidity ; µS/Cm : micro siemens par centimètre

Les résultats synthétisés dans le tableau 6 présentent les variations des paramètres physico-chimiques de la rivière N'djili selon les points de prélèvement. Entre l'amont et le milieu du cours d'eau, aucune différence significative n'a été observée pour le pH, la température, la turbidité et la conductivité électrique. En revanche, les teneurs en nitrates et en matières en suspension (MES) présentent des variations notables entre ces deux zones.

La comparaison entre l'amont et l'aval révèle des différences significatives pour la quasi-totalité des paramètres, à l'exception de la température et de la conductivité électrique qui demeurent relativement stables. De manière générale, les valeurs les plus élevées sont concentrées en aval, à l'exception des nitrates dont le pic a été enregistré au milieu du cours d'eau. Pour le pH, bien qu'une légère alcalinisation soit perceptible en aval, les valeurs restent globalement conformes aux normes nationales pour l'eau de consommation. S'agissant de la turbidité et MES, ces deux paramètres suivent une progression croissante d'amont en aval, atteignant leurs valeurs maximales au point de prélèvement situé en aval. Concernant la conductivité électrique, elle manifeste également une tendance croissante de l'amont vers l'aval, traduisant une augmentation de la charge minérale. Pour les nitrates, les teneurs les plus faibles se situent en amont, tandis que le maximum est atteint dans la zone médiane. Enfin, la température affiche une stabilité remarquable sur l'ensemble du profil longitudinal étudié.

3.3. Calcul d'indice de qualité de l'eau (IQE)

Les tableaux 7, 8 et 9 ci-dessous présentent les résultats de calcul d'indice de qualité de l'eau (IQE).

Tableau 7. Poids relatifs des paramètres physico-chimiques

Paramètres	**Unités**	**Normes OMS**	**S_i (v max, OMS)**	**$1/S_i$**	**W_i**
pH	-	6.5 – 8.5	8,5	0,118	0,3095
Température	(°C)	≤ 25	25	0,04	0,1052
Turbidité	(NTU)	≤ 5	5	0,2	0,5261
Conductivité	(µS/cm)	≤ 400	400	0,0025	0,0066
Nitrates	(mg/L)	≤ 50	50	0,02	0,0526
			Σ	0,3801	1
			k=1/Σ(1/Si)	2,6306	

Tableau 8. Valeurs de l'échelle d'évaluation de chaque paramètre

		Qi de chaque paramètre					
Partie	**SITES**	pH	Température	Turbidité	Conductivité	Nitrates	**Σwi.Qi**
Unités		-	(°C)	(NTU)	(µS/cm)	(mg/L)	
AMONT	**S1**	84,3	100	1379,3	56,08	24	763,9

	S1						
	S1						
MILIEU	**S2**	82	100,7	1542	75,42	38,7	849,8
	S2						
	S2						
AVAL	**S3**	99,6	100,7	1666	91,25	33,3	920,3
	S3						
	S3						

Tableau 9. Valeurs IQE et classe de qualité des eaux de surface de la rivière N'djili

Parties	Indice de Qualité de l'Eau	Classe de qualité
AMONT	763,9	Impropre à la consommation
MILIEU	849,8	Impropre à la consommation
AVAL	920,3	Impropre à la consommation

Le calcul d'indice de qualité consigné aux tableaux 7,8 et 9 renseigne que l'eau de la rivière N'djili est polluée, et impropre à la consommation de l'amont en aval. Cependant, la valeur la plus petite a été enregistrée en amont et la plus grande a été enregistrée en aval traduisant ainsi l'impact progressif des activités anthropiques dans cette partie.

3.4. Corrélation entre activités anthropiques et qualité de l'eau

Le tableau 10 indique la matrice de corrélation (Pearson).
Tableau 10. Matrice de corrélation (Pearson)

Paramètres	pH	Température	Turbidité	Conductivité	Nitrates	MES	IQE
pH	1	0	**0,89**	**0,92**	0,32	**0,95**	**0,94**
Température		1	0,02	0,01	0,05	0,03	0,04
Turbidité			1	**0,98**	0,58	**0,99**	**0,99**
Conductivité				1	**0,76**	**0,97**	**0,99**
Nitrates					1	0,65	**0,72**
MES						1	**0,99**
IQE							1

L'analyse de la matrice de corrélation de Pearson (tableau 10) met en évidence des relations linéaires fortes positives entre plusieurs paramètres physico-chimiques et l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE)**.** D'abord, de très fortes corrélations positives sont observées entre la turbidité, les matières en suspension (MES) et la conductivité (r≈0,97-0,99). Cette relation traduit clairement que l'augmentation de la charge particulaire dans l'eau entraîne simultanément une augmentation des solides dissous et de la minéralisation**.** En effet, les MES constituent un vecteur majeur de transport des polluants, ce qui explique leur lien étroit avec la turbidité.

Ensuite, l'IQE présente également de très fortes corrélations positives avec la turbidité, les MES et la conductivité (r ≈0,99)**.** Cela indique que ces paramètres sont les principaux facteurs explicatifs de la dégradation globale de la qualité de l'eau**.** Ceci veut autrement dire, plus la charge en particules et en ions dissous augmente, plus la qualité de l'eau se détériore.

Par ailleurs, le pH montre une corrélation positive élevée avec les MES et la conductivité (r > 0,90)**,** ce qui suggère une influence des rejets anthropiques sur l'équilibre acido-basique de l'eau, notamment en aval où une légère alcalinisation est observée. En revanche, les nitrates présentent des corrélations modérées**,** traduisant une source de pollution partiellement indépendante**,** généralement associée aux activités agricoles (engrais).

Enfin, la température présente des corrélations faibles à nulles avec l'ensemble des paramètres**,** indiquant qu'elle n'intervient pas de manière significative dans la variabilité de la qualité de l'eau dans ce contexte.

3.5. Analyse en composantes principales (ACP)

L'Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée afin d'identifier les principaux facteurs expliquant la variabilité de la qualité des eaux de la rivière N'djili et de mettre en évidence les relations entre les différents paramètres physico-chimiques (Tableau 11).

Tableau 11. Résultats de l'ACP des paramètres physico-chimiques de la rivière N'djili

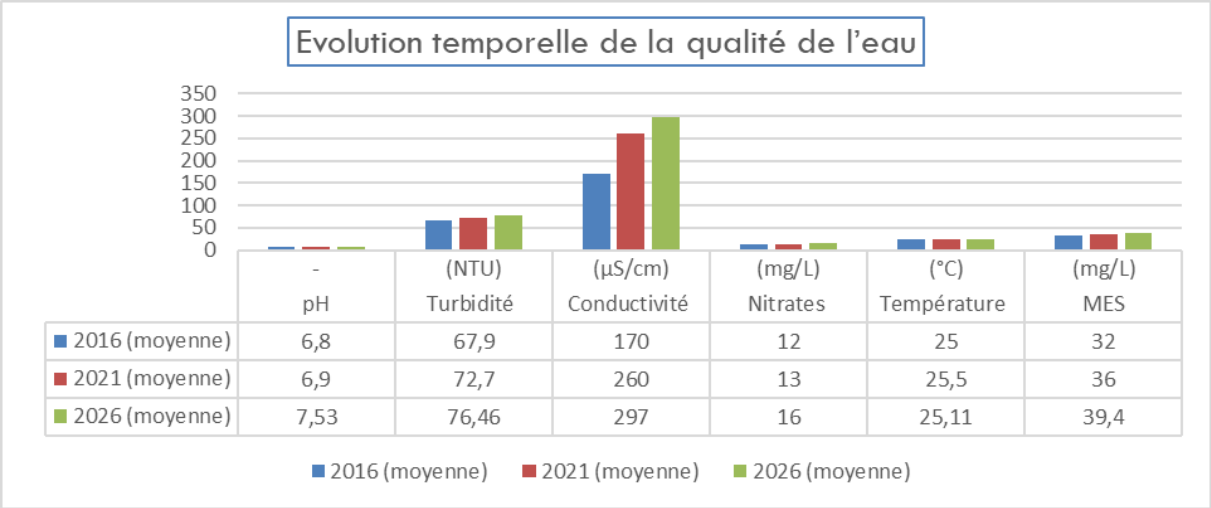
Composantes	Valeurs propres	Variance expliquée (%)	Variance cumulée (%)
F1	5,1	85	85
F2	0,7	11,7	96,7
F3	0,2	3,3	100

Les deux premiers axes (F1 et F2) expliquent ensemble 96,7 % de la variance totale, ce qui signifie que l'essentiel de l'information contenue dans les variables initiales est résumé par ces deux dimensions. L'axe F1 (axe principal avec 85%) est fortement corrélé positivement avec la turbidité, les matières en suspension (MES), la conductivité, le pH ainsi que l'indice de qualité de l'eau (IQE). Cet axe traduit donc un gradient de pollution anthropique, caractérisé par une augmentation conjointe des particules en suspension et des éléments dissous. Il traduit l'impact des activités anthropiques, notamment : les rejets domestiques non traités, le ruissellement urbain, l'accumulation des déchets solides. L'axe F2 (avec 11,7 %) est principalement associé aux nitrates, indiquant un gradient secondaire lié aux apports agricoles et aux processus biogéochimiques.

La projection des sites montre une structuration spatiale nette :
(i) Le site amont (S1) est positionné du côté des faibles charges polluantes, traduisant une qualité relativement meilleure de l'eau.
(ii) Le site milieu (S2) occupe une position intermédiaire, influencée par des apports agricoles (nitrates élevés).
(iii) Le site aval (S3) est fortement associé aux paramètres de pollution (MES, turbidité), indiquant une dégradation importante de la qualité de l'eau.
Par ailleurs, l'association étroite entre la turbidité et les MES traduit le rôle des particules en suspension dans le transport des contaminants. Ainsi, l'ACP met clairement en évidence que la dégradation de la qualité de l'eau de la rivière N'djili est principalement contrôlée par les activités anthropiques, notamment les rejets domestiques, le ruissellement urbain et les pratiques agricoles.

3.6. Evolution temporelle de la qualité de l'eau

L'évolution temporelle (entre 2016 et 2026) de la qualité physico-chimique de l'eau de la rivière N'djili est représentée dans la figure 2 ci-dessous.



	- pH	(NTU) Turbidité	(µS/cm) Conductivité	(mg/L) Nitrates	(°C) Température	(mg/L) MES
2016 (moyenne)	6,8	67,9	170	12	25	32
2021 (moyenne)	6,9	72,7	260	13	25,5	36
2026 (moyenne)	7,53	76,46	297	16	25,11	39,4

Figure 2. Evolution temporelle de la qualité de l'eau

L'analyse de la Figure 2 montre une dégradation progressive de la qualité de l'eau entre 2016 et 2026, marquée par une augmentation significative du pH, des nitrates, de la turbidité, des matières en suspension et de la conductivité au fil des années. Bien que certains paramètres d'entre eux (pH, conductivité et nitrates) restent dans les limites recommandées par l'OMS, leur évolution indique une influence croissante des activités anthropiques. Cette tendance est confirmée par les données ponctuelles récentes (2026), mettant en évidence un processus continu de pollution dominé par les apports particulaires et organiques liés aux rejets domestiques et au ruissellement urbain.

4. DISCUSSION

Les résultats obtenus dans cette étude montrent une dégradation significative de la qualité des eaux de la rivière N'djili, caractérisée par une augmentation des paramètres physico-chimiques, particulièrement

en aval. Cette détérioration de la qualité des eaux de l'amont vers l'aval des rivières serait principalement liée aux rejets des eaux usées urbaines et industrielles et/ou à l'impact des activités agricoles (Şener *et al*., 2017 ; Kalonga *et al.,* 2023).

Les valeurs de turbidité trouvées variant entre 68,96±4,43 NTU et 83,3±1,31 NTU sont largement supérieures aux normes recommandées par l'OMS (< 5 NTU) indiquent une forte charge en particules en suspension. Ces résultats sont similaires à ceux observés par Kazi *et al.* (2009) et Akoteyon *et al*. (2011), qui ont montré que les cours d'eau situés en milieu urbain présentent des turbidités élevées en raison du ruissellement et de l'érosion des sols. Cette situation confirme les études menées par Falanga *et al.* (2018) et Sifa *et al*. (2024) sur la rivière Tshuenge, phénomène qui pourrait s'expliquer par la présence de particules organiques apportées par les eaux de ruissellement et/ou par des eaux usées. Ces valeurs paraissent supérieures à celles trouvées par Ble *et al.* (2022) sur la rivière Kan en Côte d'Ivoire mais inférieures à celles de Tohouri *et al.* (2016) sur la région de Bonoua en Côte d'Ivoire.

L'augmentation progressive de la conductivité de l'amont (224±3,29 µS/Cm) vers l'aval (365±14,71 µS/Cm) traduit une accumulation des sels dissous, probablement liée aux rejets domestiques et aux effluents urbains. Des observations similaires ont été rapportées par Sargaonkar et Deshpande (2003), qui associent la conductivité élevée à une pollution anthropique croissante. Cette situation se traduit par le fait que la rivière N'djili subit un impact des activités anthropiques sur tout son parcours jusqu'au fleuve Congo et elle draine les différents déchets de la population riveraine et du boulevard Lumumba. Ce résultat est similaire à celui trouvé par Akatumbila *et al*. (2016) sur la rivière Gombe (à Kinshasa) aussi à celui d'Abboudi *et al.* (2014) sur le bassin de Guigou au Maroc et parait supérieur à celui de Gbohaida *et al*. (2016) sur l'eau de boisson de la localité de Cotonou au Bénin. Ceci peut s'expliquer par les teneurs élevées en ions dissous de ces deux dernières rivières par rapport à la N'djili. En effet, la conductivité électrique d'une eau traduit l'aptitude que possède celle-ci à laisser passer le courant électrique (Kalonga *et al.,* 2023).

Les concentrations en nitrates variant entre 12±0,81 mg/L et 19,33±1,24 mg/L, bien que restant en dessous des normes de l'OMS (50 mg/L), montrent une augmentation significative au niveau du site médian, suggérant l'influence des activités agricoles, notamment l'utilisation des engrais (NPK et urée), le rejet des eaux usées sans un traitement préalable ainsi que des déchets domestiques. En effet, l'agriculture périurbaine constitue une source majeure de nitrates dans les eaux de surface. Ce résultat est également conforme à celui trouvé par Kakundika *et al.* (2022) sur la rivière N'djili.

Les teneurs élevées en matières en suspension (MES) observées en aval confirment l'impact des activités humaines, notamment le rejet des déchets solides et le lessivage des sols. Selon Chapman (1996), les MES jouent un rôle clé dans le transport des polluants et des micro-organismes. Cette situation confirme les observations de Kazi *et al.* (2009), qui attribuent l'augmentation de la matière en suspension au ruissellement et aux apports en matières organiques. Elle pourrait également s'expliquer par les rejets domestiques et le lessivage des sols, comme l'ont montré Akoteyon *et al*. (2011).

En ce qui concerne le pH, les valeurs obtenues varient globalement entre 7,166±0,28 et 8,46±0,12, indiquant des eaux autour de la neutralité à alcalines. Cette variation pourrait s'expliquer par la nature géologique du bassin versant ainsi que par les rejets non traités, comme l'ont souligné Falanga *et al.* (2018). Ces résultats corroborent ceux obtenus par Tshibanda *et al.* (2014) sur la rivière N'djili, mais restent légèrement supérieurs à ceux observés par Wanga *et al*. (2015) sur les eaux de la rivière Kalamu de Boma et inférieurs à ceux rapportés par Soumaila *et al.* (2022) sur les eaux du fleuve Niger.

L'indice de qualité de l'eau (IQE) indique que l'eau de la rivière N'djili est impropre à la consommation sur l'ensemble du tronçon étudié, avec une dégradation progressive de l'amont vers l'aval. Cette tendance est cohérente avec les résultats de Tyagi *et al.* (2013), qui ont démontré que l'IQE est fortement influencé par les activités anthropiques en milieu urbain.

Les résultats des enquêtes renforcent ces observations, en mettant en évidence que la majorité des populations utilisent cette eau malgré sa mauvaise qualité, principalement pour des activités agricoles et domestiques. Le manque d'infrastructures adéquates (poubelles, systèmes d'assainissement, etc.) et l'insuffisance de sensibilisation contribuent fortement à la dégradation de la rivière, comme l'ont également signalé UNEP (2016). Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus par Sifa *et al*. (2024).

Enfin, l'analyse diachronique (2016-2026) montre une dégradation progressive de la qualité de l'eau, confirmant une pression anthropique croissante. Cette tendance est cohérente avec les études menées dans plusieurs villes africaines, où l'urbanisation rapide est identifiée comme un facteur majeur de pollution des ressources en eau (Ayenew, 2005 ; Mubedi *et al*., 2013 ; Mwanamoki *et al*., 2015 ; Kakundika *et al*., 2022).

5. CONCLUSION

Cette investigation a permis de déterminer l'impact des activités anthropiques dans le temps et dans

l'espace sur la qualité physico-chimique des eaux de la rivière N'djili. Les enquêtes et observations faites ainsi que les analyses des différents paramètres ont dévoilé un gradient amont-aval et ont défini une zonation longitudinale de la rivière en ce qui concerne les polluants d'origine diverse. La plupart des paramètres étudiés ont présenté des concentrations au-dessus des normes de l'OMS en matière des eaux de consommation. L'ACP et le coefficient de corrélation de Pearson démontrent l'impact des activités anthropiques sur l'Indice de Qualité de l'Eau (IQE) de la rivière N'djili.

En outre, les valeurs obtenues en aval ont été supérieures à celles obtenues en amont et cela témoigne d'un risque élevé de pollution due aux activités anthropiques sur ce bassin versant. Les résultats de cette étude fournissent des données et/ou informations sur les tendances évolutives de la qualité physico-chimique de l'eau afin de prévoir les stratégies de traitement à adopter pour y faire face. Une gestion attentive pour préserver sa qualité et sa fonctionnalité est nécessaire. D'où l'importance de la promotion des Plans de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau pour garantir en permanence la salubrité de l'eau pour ses multiples usages.

Il importe donc que les pouvoirs publics s'impliquent dans la gestion intégrale de ce cours d'eau. Ceci se traduisant par une sensibilisation de la population riveraine sur l'arrêt de déversement des ordures de toute nature, sur la mise en œuvre d'un programme de monitoring et de maintien de la qualité de cette rivière et enfin, la mise en œuvre d'une règlementation corrective vis-à-vis de ceux qui iront à l'encontre de celle-ci.

Au regard des résultats obtenus, des investigations complémentaires apparaissent nécessaires afin d'approfondir la compréhension des processus de dégradation de la qualité des eaux de la rivière N'djili à Kinshasa. Il serait pertinent d'intégrer, dans de futures études, des analyses microbiologiques (coliformes totaux, streptocoques fécaux et *Escherichia coli*) et des contaminants émergents tels que les métaux lourds et les résidus de pesticides, afin d'évaluer de manière plus exhaustive les risques sanitaires encourus par les populations riveraines de Kinshasa. Par ailleurs, le recours à des outils de modélisation spatio-temporelle et de télédétection permettrait de mieux appréhender l'évolution de l'occupation du sol et son influence sur la dynamique de pollution.

Références

Abboudi A., Tabyaoui H., Hamichi E.F., Benaabidate L. & Lahrach A., 2014. Etude de la qualité physico-chimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou, Maroc. *European Scientific Journal*, 10(23), 84 – 94.

Akatumbila L., Mabiala M., Lubini A., Pwema K. & Musibono E., 2016. Contribution à l'évaluation de la qualité physicochimique de l'eau : cas de la rivière urbaine Gombe de Kinshasa/République Démocratique du Congo. *Larhyss Journal*, 26(1), 7-29.

Akoteyon I. S., Omotayo A. O., Soladoye O. & Olaoye H. O., 2011. Determination of water quality index and suitability of urban river for domestic and irrigation purposes. *European Journal of Scientific Research*, 54(2), 263–271.

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. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.35.120202.110122.

Ayenew T., 2005. Major ions composition of urban groundwater and surface water in Addis Ababa, Ethiopia. Journal of African Earth Sciences, 42(1-2), 17–27.

Ble L.O., Kouassi A.E., Adro J.E. & Degny S., 2022. Etat de pollution des eaux de la rivière Kan, après la crise militaro-politique de 2010 en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 16(2), 878-890. DOI: https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i2.29.

Chapman D. (Ed.), 1996. *Water Quality Assessments: A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring*. 2nd ed.), London: E & FN Spon / WHO / UNESCO.

Chatterji C. & Raziuddin M., 2002. Determination of water quality index of a degraded river in Asanol Industrial area, Raniganj, Burdwan, West Bengal. *Nature, Environment and Pollution Technology*, 1(2), 181-189.

Falanga N.Z., Biey M. & Musibono E., 2018. Caractérisation de quelques polluants chimiques et bactériologiquesdes rivières Mokali et Tshuenge à Kinshasa (République Démocratique du Congo). *IJIAS*, 24(4), 1638-1644.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017. *The state of food and agriculture 2017: Leveraging food systems for inclusive rural transformation*. FAO, 179 p. https://doi.org/10.18356/0e621d61-en.

Foley J. A., DeFries R., Asner G. P., Barford C., Bonan G., Carpenter S. R., Chapin F. S., Coe M. T., Daily G. C. & Gibbs H. K., 2005. Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570–574. https://doi.org/10.1126/science.1111772.

François D., Carayon D., Sébastien B. & Juliette T. R., 2019. *Guide technique relatif à l'évaluation de l'état des eaux de surface continentales (cours d'eau, canaux, plans d'eau) (Technical Guide Relating to the Assessment of the State of Continental Surface Waters (Rivers, Canals, Bodies of Water).* Extrait Diatomées des cours d'eau, 9 p. https://hal.inrae.fr/hal-02610305;

Gbohaida V., Agbangnan P., Ngossanga M.B. & Medoatinsa E., 2016. Etude de la qualité physicochimique de l'eau de boisson dans deux localités du Benin : Cotonou et Dassa-Zoumé. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 10(1), 422-434. DOI: http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v10i1.32.

Jensen J. R., 2015. *Introductory digital image processing: A remote sensing perspective*. 4th ed.,

Pearson, 544 p.

Kakundika J. M., Cigorogo J. R., Mobuto J. B., Kumba D. Y., Lusasi W. S. & Musibono D. E., 2022. Spatial and temporal characterization of water quality of the N'djili River in Kinshasa. *Moroccan Journal of Agricultural Sciences*, 3(4).

Kalonga K.R., Mubiala K.M. & Sifa K.M., 2023. Effet d'un traitement couplant la coagulation-floculation par la poudre des graines de *Moringa oleifera* Lam. et la filtration sur sable fin associé au charbon de bois sur la purification des eaux de la rivière Kalamu à Kinshasa. *IJISR*, 66(1), 122-131. http://www.ijisr.issr-journals.org/

Kazi T. G., Arain M. B., Jamali M. K., Jalbani N., Afridi H. I., Sarfraz R. A., Baig J. A. & Shah A. Q., 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(2), 301–309. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.02.009.

Kumar A., Singh R. & Patel M., 2022. Water quality modelling using principal component analysis and artificial neural networks. *Marine Pollution Bulletin*, 185, 114493. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114493.

Lillesand T. M., Kiefer R. W. & Chipman J. W., 2015. *Remote sensing and image interpretation*. 7th ed., Wiley, 736 p.

Luboya J-D. K. M., 2002. *Etude systémique du bassin versant de la rivière N'djili à Kinshasa*. Mémoire de Diplôme d'Etudes Supérieures, Ecole Régionale Post-Universitaire d'Aménagement et de gestion Intégrés des Forêts et Territoires Tropicaux (ERAIFT), Kinshasa, RDC, 219 p.

Mubedi J. I., Devarajan N., Le Faucheur S., Mputu J. K., Atibu E. K., Sivalingam P. &

Mukwita NJ, Tshijik K.J.C., Mutambel H.D.S.N., Mbungu S.E. & Kipimbye L.J., 2023. Détermination de la qualité physique et chimique et analyse des micropolluants des eaux de la rivière Lukunga à Kinshasa/RD Congo. *IJPSAT*, 36(2), 243-252. https://pdfs.semanticscholar.org/677d/3fc5ceb94863eeaa32344d7d0f0fc2063f60.pdf.

Muniz D. H. F. & Oliveira-Filho E. C., 2023. Multivariate statistical analysis for water quality assessment: A review. *Hydrology*, 10(10), 196. https://doi.org/10.3390/hydrology10100196.

Mwanamoki P. M., Devarajan N., Niane B., Ngelinkoto P., Theveno, F., Nlandu W. J., Mwegoha W. J. S. & Kihampa C., 2010. Heavy metal contamination in agricultural soils and water in Dar es Salaam, Tanzania. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 4(11), 763–769.

Ndolo P. G., 2015. *GIS-based soil erosion modeling and sediment yield of the N'djili river basin, democratic republic of Congo*. Master of Science, Colorado State University Fort Collins, Colorado Summer, 102 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.

Rodier J., Bazin C., Broutin J. P., Chambon P., Champsaur H. & Rodi L., 2005. *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, résiduaires, de mer – Chimie, physico-chimie, microbiologie, biologie, interprétation des résultats.*8e éd., Paris, 1384 p.

Sargaonkar A. & Deshpande V., 2003. Development of an overall index of pollution for surface water. *Ecological Indicators*, 3(1), 1–15.

Sener S., Sener E. & Davraz A., 2017. Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SWTurkey). *Science of the Total Environment*, 584, 131-144. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.01.102.

Seto K. C., Güneralp B. & Hutyra L. R., 2012. Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), 16083–16088. https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109.

Shrestha S. & Kazama, F., 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji River basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, *22*(4), 464–475. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.02.001.

Sifa Kwa Mungu D.B, Lualaba N.P & Ne-Kongo M. B., 2024. Impact des activités anthropiques sur la qualité physico-chimique des eaux de la rivière Tshueng e localisée à l'Est de Kinshasa/RD Congo, *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 18(3), 1115-1127. https://doi.org/10.4314/ijbcs.v18i3.31.

Soumaïla S.I., Adamou M.M., Illa S. & Issoufou I.A., 2022. Évaluation temporelle des paramètres physico-chimiques des eaux du fleuve Niger à Niamey. *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 39, 364-375. https://www.revist.ci/REVIST_39/22-ST-849.pdf.

Sutadian A.D., Muttil N., Yilmaz A.G. & Perera B.J.C. 2016. Development of River Water Quality Indices—A Review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(58). https://doi.org/10.1007/s10661-015-5050-0.

Tohouri P., Adja G.M. & Soro G. 2017. Qualité physico-chimique en saison pluvieuse des eaux de surface de la région de Bonoua (Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *IJIAS*, 20(1), 28-41.

Tshibanda J.B., Devarajan N., Niane B., Mwanamoki P.M., Atibu E.K., Mpiana P.T., Prabakar K., Mubedi J.I, Kabele C.G., Wildi W. & Poté J., 2014. Microbiological and physico chemical characterization of water and sediment of an urban river: N'Djili River, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Sustainability of Water Quality and Ecology*, 3(4), 47-54.

Tyagi S., Sharma B., Singh P. & Dobhal R., 2013. Water quality assessment in terms of water quality index. *American Journal of Water Resources*, 1(3), 34–38.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2020. *World Urbanization Prospects: The 2020 Revision*, 126 p.

United Nations Environment Programme, 2016. *A snapshot of the world's water quality: Towards a global assessment*, 88 p.

Van Vliet M. T. H., Yearsley J. R., Franssen W. H. P., Ludwig F., Haddeland I., Lettenmaier D. P. & Kabat P.,

2013. Global river discharge and water temperature under climate change. *Water Resources Research*, 49(6), 3347–3360. https://doi.org/10.1002/wrcr.20292.

Wanga B.M., Musibono D.E., Mpiana P.T. *et al*., 2015. Evaluation de la qualité physicochimique des eaux de la rivière Kalamu de Boma, RD Congo. *CONGO SCIENCES*, 3(1), 55-62.

World Health Organization, 2017. *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum*, 541 p.

Yidana S.M. & Yidana A., 2009. Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. *Environnemental Earth Sciences*, 59(7), 1461-1473. DOI: 10.1007/s12665-009-0132-3.

Zezza A. & Tasciotti L., 2010. Urban agriculture, poverty, and food security: Empirical evidence from a sample of developing countries. *Food Policy***,** 35(4), 265–273. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.04.007.

Zhang Y., Hou P., Chang F., Duan I. & Zhang H., 2025. Principal component analysis for water quality assessment in river systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(2), 123–135. https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-024-13601-2.