



POLLUTIONS PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTÉRIOLOGIQUES DES RIVIÈRES GOMBE ET KALAMU. ANALYSE COMPARATIVE DU GRADIENT DES POLLUTIONS POUR LES EXERCICES 2013, 2015, 2018, 2021 ET 2024

BILA-BILA MUSASA Bienvenu^{1 et 2}

1. Université Catholique OMNIA OMNIBUS, Ville Province de Kinshasa, RDC
2. Institut Supérieur des Arts (INA)

Résumé

Cette étude évalue la pollution physico-chimique et bactériologique des rivières urbaines Gombe et Kalamu à Kinshasa, sur la période 2013–2024. Les analyses montrent une dégradation progressive de la qualité de l'eau, marquée par une acidité modérée à légèrement acide dans la Gombe, une conductivité et des solides totaux dissous très élevés, ainsi que des concentrations importantes de nitrates et phosphates. La rivière Kalamu présente des niveaux encore plus critiques, avec des concentrations dangereuses de cadmium et de phosphates, confirmant un risque toxique élevé.

Les deux rivières sont fortement contaminées par des micro-organismes fécaux, conséquence directe des rejets domestiques et de l'absence d'assainissement adéquat. L'analyse comparative met en évidence un gradient de pollution plus marqué dans la Funa, lié à la densité des activités humaines et industrielles.

Ces résultats soulignent l'urgence de mesures correctives : renforcement du traitement des eaux usées, infrastructures d'assainissement, surveillance régulière de la qualité de l'eau, sensibilisation des populations et gestion intégrée du bassin versant urbain. La mise en œuvre de ces recommandations permettrait de prévenir les risques sanitaires et environnementaux, et d'améliorer durablement la qualité des eaux urbaines à Kinshasa.

Mots-clés : pollution des eaux urbaines, rivières Gombe et Kalamu, métaux lourds, contamination microbiologique, RDC, gestion intégrée.

Abstract

This study assesses the physico-chemical and bacteriological pollution of the urban rivers Gombe and Kalamu in Kinshasa from 2013 to 2024. The analyses reveal a progressive deterioration of water quality, with moderately acidic to slightly acidic conditions in the Gombe River, very high conductivity and total dissolved solids, and significant nitrate and phosphate concentrations. The Kalamu River shows even

more critical levels, with dangerously high cadmium and phosphate concentrations, indicating a serious toxic risk.

Both rivers are heavily contaminated with fecal microorganisms, directly linked to domestic wastewater discharge and inadequate sanitation systems. The comparative analysis highlights a pollution gradient more pronounced in the Funa River, associated with the intensity of human and industrial activities.

These findings emphasize the urgent need for **corrective** measures: enhanced wastewater treatment, adequate sanitation infrastructure, regular water quality monitoring, public awareness, and integrated urban watershed management. Implementing these recommendations would reduce health and **environmental risks** and sustainably improve urban water quality in Kinshasa.

Keywords: urban water pollution, Gombe and Kalamu rivers, heavy metals, microbiological contamination, DR Congo, integrated management.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.18711505>

I. Introduction

L'eau est une ressource naturelle indispensable à la vie, au développement socio-économique et à la santé publique. Cependant, à l'échelle mondiale, la qualité des eaux douces se dégrade sous l'effet croissant des activités anthropiques, notamment l'urbanisation non planifiée, l'industrialisation et l'insuffisance des systèmes d'assainissement (Chapman, 1996 ; WHO, 2017). Cette dégradation se traduit par des altérations physico-chimiques et bactériologiques, incluant l'augmentation de la turbidité, la contamination fécale et la présence de métaux lourds toxiques tels que le plomb (Pb) et le cadmium (Cd).

Les métaux lourds constituent une menace majeure pour les écosystèmes aquatiques et la santé humaine en raison de leur persistance, de leur toxicité et de leur capacité à s'accumuler dans la chaîne trophique par des phénomènes de bioconcentration et de bioamplification (Alloway & Ayres, 1997 ; Förstner & Wittmann, 2012). Le plomb, en particulier, est reconnu pour ses effets neurotoxiques, surtout chez les enfants et les femmes enceintes, et ne joue aucun rôle biologique bénéfique connu (ATSDR, 2019).

En Afrique subsaharienne, et plus particulièrement en République Démocratique du Congo (RDC), la problématique de la pollution des eaux de surface est paradoxale au regard de l'abondance des ressources hydriques disponibles. Bien que la RDC dispose de plus de la moitié des réserves d'eau douce d'Afrique, une part importante de la population urbaine n'a pas accès à une eau potable de qualité, notamment à Kinshasa, où la pression démographique et l'urbanisation anarchique accentuent la vulnérabilité des cours d'eau urbains (UNICEF & WHO, 2021).

À Kinshasa, les rivières urbaines jouent un rôle essentiel comme sources d'eau d'usage domestique et de ressources halieutiques. Toutefois, elles sont largement utilisées comme réceptacles des déchets solides, des eaux usées domestiques et des excréta issus de dispositifs d'assainissement individuels inappropriés, localement appelés *MINDUKI*. Ces pratiques entraînent une pollution fécale importante, caractérisée par des concentrations élevées de coliformes fécaux, indicateurs reconnus de contamination bactériologique des eaux (APHA, 2017).

Les rivières Gombe et Kalamu, affluents du fleuve Congo, illustrent cette dynamique de dégradation environnementale. Traversant des zones densément peuplées, elles drainent des effluents domestiques et urbains susceptibles d'altérer durablement la qualité physico-chimique et bactériologique de leurs eaux, avec des impacts directs sur la santé publique et les écosystèmes aquatiques (Meybeck, 2003).

Dans ce contexte, l'évaluation temporelle et comparative de la qualité des eaux apparaît comme un outil essentiel d'aide à la décision pour la gestion durable des ressources hydriques urbaines. La présente étude s'inscrit dans cette perspective et vise à analyser comparativement le gradient des pollutions physico-chimiques et bactériologiques des rivières Gombe et Funa à partir des données analytiques de 2013, 2015, 2018, 2021 et 2024, issues du Laboratoire du Centre de Recherches Géologiques et Minéralogiques (CRGM) de Kinshasa-Gombe.

Question de recherche

Comment les niveaux de pollution physico-chimique et bactériologique des rivières Gombe et Kalamu ont-ils évolué dans le temps, et dans quelle mesure les pressions anthropiques influencent-elles le gradient de pollution observé entre ces deux cours d'eau urbains de la ville de Kinshasa ?

2. Cadre d'étude et méthodologique

2.1. Présentation générale de la ville de Kinshasa

La ville de Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo, est située entre 4°24' de latitude Sud et 15°15' de longitude Est, à une altitude moyenne de 520 m. Fondée en 1881 sous le nom de Léopoldville, elle devient capitale du pays en 1921 avant d'être rebaptisée Kinshasa en 1966. Elle est limitée au nord par le fleuve Congo, à l'est et au nord-est par l'ancienne province du Bandundu, et au sud et à l'ouest par la province du Kongo Central.

Kinshasa connaît une forte croissance démographique et une urbanisation rapide, souvent non planifiée, ce qui exerce une pression importante sur les infrastructures d'assainissement et sur les milieux naturels, en particulier les cours d'eau urbains.

2.2. Contexte biophysique et climatique

Le relief de Kinshasa est dominé par une vaste plaine fluviale bordée au sud par des collines et des plateaux issus du massif du Kwango. Cette configuration topographique favorise l'écoulement des eaux de ruissellement vers le fleuve Congo à travers un réseau dense de rivières urbaines.

La ville bénéficie d'un climat tropical humide, caractérisé par une longue saison des pluies d'environ huit mois (septembre à mai) et une saison sèche de quatre mois. Les précipitations annuelles moyennes varient entre 1 200 et 1 800 mm, avec une température moyenne annuelle proche de 25 °C. Ces conditions climatiques influencent fortement le régime hydrologique des rivières et la dispersion des polluants.

2.3. Réseau hydrographique et zone d'étude spécifique

Kinshasa est traversée par une vingtaine de rivières, majoritairement orientées du sud vers le nord, qui assurent l'évacuation des eaux pluviales et domestiques vers le fleuve Congo. Ces cours d'eau sont classés en rivières des vallées envasées et rivières des vallées encaissées, selon leur origine et leur morphologie.

La présente étude porte spécifiquement sur les rivières Gombe et Funa, deux affluents urbains du fleuve Congo. La rivière Gombe, longue d'environ 4,3 km, traverse les communes de Lingwala et de la Gombe et fonctionne en grande partie comme un collecteur d'eaux pluviales et usées à ciel ouvert. La rivière Kalamu résulte de la confluence des rivières Bumbu et Funa, prend naissance dans les collines du sud de la ville et traverse plusieurs communes densément peuplées avant de se jeter dans le fleuve Congo.

Ces deux rivières sont soumises à de fortes pressions anthropiques liées aux rejets domestiques, à l'évacuation incontrôlée des excréta, aux déchets solides urbains et à l'occupation anarchique de leurs berges. Elles constituent ainsi des sites représentatifs pour l'étude des pollutions physico-chimiques et bactériologiques des cours d'eau urbains de la ville de Kinshasa.

C. Les Inondations



Photos3-5 Inondation après la pluie à Kinshasa

2.2. Méthodologie de l'étude

2.2.1. Approche méthodologique

La présente étude s'appuie sur une approche méthodologique combinant la méthode systémique **et** la méthode dialectique, largement mobilisées dans l'analyse des problématiques environnementales complexes. La méthode systémique permet d'appréhender l'environnement comme un ensemble de composantes interdépendantes, où toute perturbation affecte l'équilibre global du système (Bertalanffy, 1968 ; Morin, 2005). Elle est particulièrement adaptée à l'étude des phénomènes de pollution des eaux, qui résultent d'interactions multiples entre facteurs naturels et anthropiques (Meybeck, 2003).

La méthode dialectique, quant à elle, repose sur l'analyse critique des faits sociaux et environnementaux dans leur dynamique d'évolution, en mettant en évidence les contradictions et les transformations dans le temps (Gurvitch, 1962). Dans cette étude, elle a permis de comparer l'évolution spatio-temporelle des niveaux de pollution des rivières Gombe et Funa à différentes périodes d'observation.

2.2.2. Techniques de collecte des données

La collecte des données a reposé sur une combinaison de recherche documentaire, **d'**observation directe et **d'**analyses de laboratoire, conformément aux recommandations méthodologiques en sciences de l'environnement (Chapman, 1996 ; APHA, 2017). La recherche documentaire a permis de rassembler des informations issues d'études antérieures, de rapports techniques et de publications scientifiques portant sur la pollution des eaux urbaines et la gestion des ressources hydriques à Kinshasa.

L'observation directe de terrain a été utilisée pour apprécier l'état physique des rivières, identifier les sources visibles de pollution et analyser les pratiques d'évacuation des déchets et des effluents par les populations riveraines, comme le recommandent Creswell (2014) et Yin (2018) dans les études environnementales appliquées.

2.2.3. Échantillonnage et analyses de laboratoire

Les prélèvements d'eau ont été effectués le 11 avril 2024 sur les rivières Gombe et Kalamu, à trois sites représentatifs (amont, tronçon intermédiaire et aval) et à trois moments de la journée (matin, midi et soir), pour un total de 18 échantillons. Cette stratégie d'échantillonnage spatio-temporel vise à capter la variabilité des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, conformément aux recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (WHO, 2017).

Les analyses ont été réalisées au laboratoire du Centre de Recherches Géologiques et Minéralogiques (CRGM). Les paramètres analysés incluent le pH, la conductivité électrique, la turbidité, les solides totaux dissous (TDS), les nutriments (nitrates, phosphates), les ions majeurs, les métaux lourds (Pb et Cd) ainsi que les indicateurs bactériologiques (coliformes fécaux, streptocoques fécaux, entérobactéries et germes totaux), reconnus comme indicateurs fiables de la qualité des eaux de surface (WHO, 2017 ; APHA, 2017).

2.2.4. Méthodes analytiques et normes

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été réalisées conformément aux normes internationales ISO et AFNOR, largement utilisées dans les études de qualité des eaux (Rodier et al., 2009). Les méthodes de filtration sur membrane ont été appliquées pour le dénombrement des germes indicateurs, tandis que les paramètres chimiques ont été mesurés à l'aide d'instruments standards de laboratoire (pH-mètre, conductimètre, turbidimètre et spectrophotomètre UV-visible).

3. RESULTATS

3.1. Présentation des résultats

Les analyses ont porté sur dix-huit (18) échantillons d'eau, dont neuf (9) par rivière, prélevés dans les rivières Gombe et Funa en 2024. Les paramètres analysés couvrent les aspects physico-chimiques et bactériologiques, incluant notamment le pH, la conductivité, les solides totaux dissous, les nutriments, les ions majeurs, les métaux lourds ainsi que les indicateurs microbiologiques.

A. Rivière Gombe

Tableau 1. Synthèse des résultats moyens 2024 – Rivière Gombe

Paramètres clés	Moyenne observée	Normes OMS	Conformité
pH	6,2	6,5 – 8,5	✗
Conductivité (µS/cm)	1 283	250	✗
Solides totaux dissous (mg/l)	640	200	✗
Salinité (mg/l)	92	200	✓
Nitrates (mg/l)	36	25	✗
Phosphates (mg/l)	2,95	0,3	✗
Fer total (mg/l)	0,29	0,3	⚠
Plomb (µg/l)	0,92	<10	✓
Cadmium (µg/l)	0,19	<3	✓
Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	Innombrables	0	✗
Germes totaux (UFC/100 ml)	Innombrables	0	✗
Odeur	Nauséabonde	Inodore	✗
Couleur	Brune	Incolore	✗

Les résultats montrent que la rivière Gombe présente une pollution chimique (pH, conductivité, nitrates, phosphates, solides totaux dissous) et microbiologique sévère (coliformes et germes totaux). Seuls certains paramètres comme la salinité, le plomb et le cadmium restent conformes aux normes de l'OMS. L'eau est visiblement altérée (odeur nauséabonde, couleur brune), ce qui souligne la nécessité urgente de mesures de traitement et de protection pour préserver la santé des populations riveraines.

Tableau 2. Évolution temporelle des paramètres clés – Rivière Gombe (2015–2024)

Paramètres	2015	2018	2021	2024	Normes OMS
pH	6,4	6,81	6,25	6,23	6,5–8,5
Conductivité (µS/cm)	519	476	1 170	1 283	250
TDS (mg/l)	–	234	584	640	200
Nitrates (mg/l)	34	3	36	36	25
Phosphates (mg/l)	0,32	1,61	0,8	2,95	0,5
Coliformes fécaux	0	Inn	Inn	Inn	0
Odeur	Inodore	–	Nauséabonde	Nauséabonde	Inodore

L'évolution des paramètres de la rivière Gombe entre 2015 et 2024 montre une dégradation progressive de la qualité de l'eau. Le pH reste légèrement acide et inférieur aux normes OMS tout au long de la période. La conductivité et les solides totaux dissous (TDS) ont fortement augmenté depuis 2018, dépassant largement les seuils recommandés, indiquant un accroissement de la pollution chimique. Les nitrates et phosphates présentent des fluctuations avec des pics en 2021 et 2024, témoignant d'une contamination par les activités humaines (agriculture, rejets urbains). La présence constante de coliformes fécaux et l'odeur nauséabonde à partir de 2021 indiquent une pollution microbiologique persistante, rendant l'eau impropre à la consommation et dangereuse pour la santé des populations riveraines.

B. Rivière Funa

Tableau 3. Synthèse des résultats moyens 2024 – Rivière Funa

Paramètres clés	Moyenne observée	Normes OMS	Conformité
pH	6,65	6,5 – 8,5	✓
Conductivité (µS/cm)	1 873	250	✗
Solides totaux dissous (mg/l)	984	200	✗
Nitrates (mg/l)	70	25	✗
Phosphates (mg/l)	5,09	0,3	✗
Fer total (mg/l)	1,61	0,3	✗
Plomb (µg/l)	3,57	<10	✓
Cadmium (µg/l)	17,14	<3	✗
Coliformes fécaux (UFC/100 ml)	Innombrables	0	✗
Germes totaux (UFC/100 ml)	Innombrables	0	✗
Odeur	Nauséabonde	Inodore	✗
Couleur	Brune	Incolore	✗

La qualité de l'eau de la rivière Funa en 2024 est très préoccupante. Si le pH reste dans la norme OMS, la majorité des autres paramètres dépassent largement les seuils recommandés. La conductivité, les solides totaux dissous, les nitrates, les phosphates et le fer total révèlent une contamination chimique élevée, probablement liée aux rejets industriels et urbains. Le cadmium dépasse gravement la norme, ce qui pose un risque toxicologique sérieux pour les populations exposées. La présence massive de coliformes fécaux et de germes totaux, ainsi que l'odeur nauséabonde et la couleur brune, indiquent une pollution microbiologique sévère et rendent l'eau non potable.

Tableau 4. Évolution temporelle des paramètres clés – Rivière Funa (2013–2024)

Paramètres	2013	2021	2024	Normes OMS
pH	6,81	6,47	6,64	6,5–8,5
Conductivité (µS/cm)	208	1 305	1 873	250
TDS (mg/l)	88	658	984	200

Nitrates (mg/l)	11	49	70	25
Phosphates (mg/l)	3,25	3,28	5,09	0,5
Cadmium (µg/l)	19,35	0,16	17,14	<3
Coliformes fécaux	0	Inn	Inn	0
Odeur	Inodore	Nauséabonde	Nauséabonde	Inodore

L'évolution de la qualité de l'eau de la rivière Funa (2013–2024) montre une dégradation inquiétante. Le pH reste globalement stable et conforme aux normes OMS, mais tous les autres paramètres présentent des dépassements croissants. La conductivité et les solides totaux dissous (TDS) augmentent fortement, passant de valeurs proches de la norme en 2013 à des niveaux extrêmement élevés en 2024, indiquant une accumulation de sels et de polluants dissous dans l'eau.

Les nitrates et phosphates montrent également une hausse continue, suggérant des apports réguliers de substances nutritives, probablement issues d'effluents urbains ou industriels, favorisant l'eutrophisation. Le cadmium, après une baisse temporaire en 2021, reste en 2024 très supérieur à la norme OMS, constituant un risque sérieux pour la santé.

La présence persistante de coliformes fécaux, combinée à une odeur nauséabonde, confirme une contamination microbiologique chronique, rendant l'eau inadéquate pour la consommation humaine et nécessitant des mesures urgentes de traitement et de contrôle des rejets polluants.

3.1.1. Analyse comparative des valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de la rivière Gombe (2024)

Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs moyennes du pH mesurées dans la rivière Gombe indiquent une eau légèrement acide, avec une moyenne globale de **6,2**. Les sites Mushie (6,11), Ex-24 Novembre (6,10) et Petit Pont (6,5) présentent des valeurs proches ou légèrement inférieures à la norme OMS (6,5–8,5). Cette acidité modérée peut favoriser la dissolution des métaux et accélérer la corrosion des infrastructures hydrauliques.

Conductivité électrique

La conductivité électrique est très élevée sur l'ensemble des sites, avec 1500 µS/cm à Mushie, 1107 µS/cm à Ex-24 Novembre et 1245 µS/cm à Petit Pont, **soit 4 à 6 fois supérieures** à la norme OMS (250 µS/cm). Ces valeurs traduisent une forte minéralisation de l'eau, révélatrice d'une pollution d'origine urbaine et domestique, susceptible d'affecter la biodiversité aquatique.

Matières en suspension (MES)

Les matières en suspension sont présentes en quantités importantes, contribuant à une forte turbidité de l'eau. Cette situation limite la pénétration de la lumière, réduit la photosynthèse et favorise l'asphyxie des organismes aquatiques, tout en jouant un rôle de vecteur de polluants.

Bicarbonates et chlorures

Les teneurs en bicarbonates (51 à 100 mg/l) et en chlorures (51 à 100 mg/l) restent largement inférieures aux normes, indiquant une faible alcalinité et une absence de pollution significative liée à ces ions.

Sulfates

Les concentrations en sulfates varient entre 81,5 et 156,5 mg/l, soit nettement inférieures aux normes OMS (250–500 mg/l). Ces teneurs ne présentent pas de risque sanitaire majeur, mais contribuent à l'augmentation de la conductivité globale.

Nitrates

Les nitrates affichent des valeurs moyennes comprises entre 30,31 et 43,86 mg/l, légèrement supérieures à la norme OMS (25 mg/l). Cette situation est attribuée aux activités maraîchères, au lessivage des sols et au rejet des déchets organiques domestiques, avec un risque d'eutrophisation du milieu aquatique.

Phosphates

Les concentrations en phosphates sont très élevées, allant de 2,36 à 3,5 mg/l, soit 5 à 7 fois supérieures à la norme OMS (0,5 mg/l). Ces niveaux confirment un risque élevé d'eutrophisation, lié aux rejets domestiques et aux apports d'engrais.

Métaux lourds

- **Fer total** : valeurs comprises entre 0,12 et 0,43 mg/l, avec un léger dépassement au site Petit Pont.
- **Cuivre** : concentrations inférieures à la norme OMS (2 mg/l), indiquant une pollution faible à modérée.
- **Manganèse** : teneurs faibles et conformes aux normes.
- **Cadmium** : valeurs très inférieures à la norme OMS, traduisant une absence de pollution significative.
- **Plomb** : concentrations faibles et conformes, suggérant une réduction de la pollution, probablement liée à l'abandon de l'essence plombée.
- **Chrome** : concentrations supérieures à la norme OMS (0,05 mg/l) sur l'ensemble des sites, indiquant une pollution préoccupante, potentiellement d'origine industrielle.

Ions majeurs (K, Ca, Mg)

Les teneurs en potassium, calcium et magnésium restent inférieures aux normes OMS, indiquant l'absence de pollution par ces éléments.

Paramètres bactériologiques, odeur et couleur

Les **coliformes fécaux**, **streptocoques fécaux**, **entérobactéries** et **germes totaux** sont **innombrables sur tous les sites**, traduisant une **contamination fécale généralisée**. L'eau présente une **odeur nauséabonde** et une **coloration brune**, confirmant une **altération avancée de la qualité sanitaire** de la rivière.

3.1.1.2. Présentation des valeurs moyennes des résultats (2015, 2018, 2021, 2024) – Rivière Gombe

Cette étude compare les pollutions physico-chimiques et bactériologiques de la rivière Gombe sur quatre années (2015, 2018, 2021 et 2024), à partir des travaux de KAMUANYA (2015), NKAMBA (2018), NTUMBA (2021) et les analyses réalisées en 2024 au laboratoire CRGM de Kinshasa.

1. Potentiel d'hydrogène (pH)

Les valeurs moyennes restent légèrement acides : 6,23 (2024), 6,25 (2021), 6,81 (2018), 6,4 (2015). Cette acidité peut entraîner corrosion des canalisations et dissolution de métaux.

2. Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

La conductivité, indicateur de salinité et d'ions dissous, dépasse largement les normes (250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) : 1 282,83 (2024), 1 170 (2021), 476,3 (2018), 519 (2015). Elle affecte la biodiversité aquatique et la santé des consommateurs de poissons.

3. Solides totaux dissous (mg/l)

Les valeurs moyennes : 639,83 (2021), 584 (2018), 234,3 (2015). Elles dépassent la norme OMS (200 mg/l), entraînant sédimentation, colmatage des branchies et réduction de la photosynthèse.

4. Salinité (mg/l)

Valeurs : 91,98 (2024), 94 (2021), 340 (2018), 30 (2015). Seule l'année 2018 dépasse la norme OMS (200 mg/l). La baisse en 2021-2024 est liée à la sensibilisation et aux travaux gouvernementaux.

5. Bicarbonates (mg/l)

Réduction de 2015 (250 mg/l) à 2024 (75,99 mg/l), reste bien inférieure à la norme OMS (893,16 mg/l), reflétant la réduction des rejets industriels.

6. Sulfates (mg/l)

Valeurs : 113,3 (2024), 113,5 (2021), 9,8 (2018), 5,7 (2015). Toutes inférieures aux normes (200-500 mg/l).

7. Chlorures (mg/l)

Valeurs : 49,95 (2024), 50 (2021), 58,5 (2018), 53,6 (2015), inférieures aux normes OMS (200 mg/l).

8. Nitrates (mg/l)

Valeurs : 36,14 (2024), 36,1 (2021), 3 (2018), 34 (2015). Les années 2015, 2021 et 2024 dépassent légèrement les normes (25 mg/l), entraînant risque d'eutrophisation et pollution de l'eau potable.

9. Phosphates (mg/l)

Valeurs : 2,95 (2024), 0,8 (2021), 1,61 (2018), 0,32 (2015). Forte pollution en 2024 (6 fois norme OMS 0,5 mg/l), liée aux engrais et rejets urbains.

10. Fer total (mg/l)

Valeurs : 0,29 (2024), 0,35 (2021), 0,24 (2018), 0,18 (2015), conformes aux normes OMS (0,3 mg/l).

11. Manganèse (mg/l)

Valeurs : 0,13 (2024 et 2021), supérieures aux normes OMS (0,05-0,5 mg/l). Pollution modérée, risque pour la santé humaine et coloration/turbidité de l'eau.

12. Cadmium (mg/l)

Valeurs : 0,19 (2024), 0,18 (2021), 68 (2015). Pic élevé en 2015 (27 fois norme OMS 0,05 mg/l) dû à l'essence plombée ; forte réduction après adoption de l'essence sans plomb.

13. Plomb (mg/l)

Valeurs : 0,92 (2024), 0,81 (2021), 210 (2015). Pollution majeure en 2015, corrigée par l'abandon de l'essence plombée.

14. Cuivre (mg/l)

Valeurs : 1,24 (2024), 0,94 (2021), 6,2 (2018). Pic en 2018, baisse ensuite grâce à la sensibilisation et au contrôle des engrais/fongicides.

15. Chrome (mg/l)

Valeurs : 0,28 (2024), 0,08 (2021), 53,6 (2015). Pollution très élevée en 2015, avec risque carcinogène.

16. Potassium (mg/l)

Valeurs : 34,68 (2024), 31,4 (2021), 29,8 (2018), 32,85 (2015), inférieures aux normes OMS (200 mg/l).

17. Calcium (mg/l)

Valeurs : 23,15 (2024), 18,12 (2021), 17,9 (2018), 12,4 (2015), sans pollution.

18. Magnésium (mg/l)

Valeurs inférieures aux normes, sans pollution.

19. Mercure (µg/l)

Valeurs : 0,41 (2024), 0,28 (2021), 0,45 (2018), 0,14 (2015), largement inférieures aux normes OMS (6 µg/l).

20. Coliformes et germes totaux

Présence innombrable, contamination fécale due aux rejets domestiques et urbains.

21. Odeur et couleur

Eau nauséabonde et brunâtre, conséquence directe des déchets et eaux usées déversés dans la rivière.

4. Discussion

4.1. Dégradation de la qualité de l'eau des rivières Gombe et Funa

Les résultats obtenus pour 2024 montrent que les deux rivières urbaines présentent une pollution chimique et microbiologique préoccupante, bien que dans des proportions différentes. La rivière Gombe affiche une acidité modérée (pH 6,2), une conductivité et des solides totaux dissous très élevés, des concentrations importantes de nitrates et phosphates, et une contamination microbiologique chronique avec des coliformes fécaux et germes totaux innombrables. La rivière Funa présente, quant à elle, des

valeurs encore plus critiques, avec des concentrations extrêmement élevées de cadmium (17,14 µg/l) et de phosphates (5,09 mg/l), confirmant un risque toxique important.

Cette situation reflète l'impact des pressions anthropiques croissantes, incluant l'urbanisation anarchique, le rejet d'eaux usées domestiques, les déchets solides et les effluents industriels, comme l'ont souligné Chapman (1996) et Meybeck (2003). Les deux rivières servent de réceptacles pour ces pollutions, entraînant une altération visible de l'eau (odeur nauséabonde, couleur brune), ce qui constitue un indicateur qualitatif de contamination (WHO, 2017).

4.2. Évolution temporelle et tendance des paramètres physico-chimiques

L'analyse comparative sur plusieurs années (2013–2024) montre une tendance générale à la dégradation de la qualité de l'eau :

- **pH** : relativement stable et légèrement acide pour la Gombe (6,23–6,4) et conforme pour la Kalamu (6,47–6,81). Une eau acide peut favoriser la dissolution des métaux et la corrosion des infrastructures hydrauliques (Rodier et al., 2009).
- Conductivité et solides totaux dissous (TDS) : augmentation progressive pour les deux rivières, passant de valeurs proches des normes en 2013–2015 à des niveaux très élevés en 2024, reflétant une accumulation de sels, de métaux et de polluants dissous (Förstner & Wittmann, 2012).
- **Nutriments (nitrates et phosphates)** : forte variabilité dans le temps, avec des pics en 2024, particulièrement pour la Funa (nitrates 70 mg/l, phosphates 5,09 mg/l), indiquant des apports constants de matières organiques et d'engrais, favorisant l'eutrophisation (Alloway & Ayres, 1997).
- **Métaux lourds (Pb, Cd, Fe, Cr)** : les pics observés dans certaines années (par exemple Pb et Cd en 2015) reflètent des apports historiques liés à l'essence plombée et à certaines activités industrielles. La réduction progressive du plomb dans la Gombe (0,92 µg/l en 2024) suggère l'effet positif de la réglementation sur l'essence (ATSDR, 2019). Toutefois, le cadmium reste très élevé dans la Funa, indiquant des sources industrielles ou urbaines persistantes.

Ces tendances confirment que les activités humaines sont le principal facteur de dégradation de la qualité de l'eau, et que la régulation partielle des polluants peut améliorer certains paramètres (Meybeck, 2003; WHO, 2017).

4.3. Pollution microbiologique et risques sanitaires

La contamination fécale chronique est observée sur les deux rivières depuis 2018, avec des coliformes fécaux et germes totaux innombrables, couplée à une odeur nauséabonde et une coloration brune de l'eau. Cette situation est directement liée aux rejets d'eaux usées domestiques, à l'absence de systèmes d'assainissement adéquats (MINDUKI), et aux pratiques d'évacuation anarchique des excréta dans les rivières, comme l'ont observé UNICEF & WHO (2021) dans le contexte urbain de Kinshasa.

Cette contamination microbiologique représente un risque sanitaire majeur, notamment pour les populations utilisant l'eau pour la consommation domestique, l'irrigation et la pêche. Elle illustre également l'absence de traitement des eaux avant rejet, favorisant la transmission de maladies hydriques telles que la diarrhée, le choléra et la typhoïde (APHA, 2017).

4.4. Comparaison du gradient de pollution Gombe – Funa

La comparaison des deux rivières révèle un **gradient de pollution plus élevé dans la rivière Funa** :

- Conductivité, TDS, nitrates, phosphates et cadmium sont systématiquement plus élevés dans la Kalamu qu'au niveau de la Gombe.

- Les deux rivières présentent une contamination microbiologique sévère, mais les concentrations de métaux lourds et de nutriments sont plus critiques dans la Funa, suggérant des sources industrielles et urbaines plus intenses (Förstner & Wittmann, 2012).
- Le pH stable et conforme dans la Funa contraste avec la légère acidité persistante de la Gombe, reflétant des conditions chimiques différentes malgré des pressions anthropiques similaires.

Ce gradient indique que la localisation et la densité des activités humaines influencent fortement la qualité de l'eau. La Gombe, traversant des zones plus résidentielles et partiellement aménagées, présente des pollutions chimiques moins sévères que la Funa, qui traverse des zones industrielles et densément peuplées (Chapman, 1996; Meybeck, 2003).

4.5. Implications pour la gestion de l'eau et recommandations

Les résultats soulignent l'urgence d'actions correctives pour limiter la pollution des rivières urbaines de Kinshasa :

1. Renforcement du traitement des eaux usées et contrôle des rejets industriels et domestiques (WHO, 2017).
2. Mise en place d'infrastructures d'assainissement adaptées pour réduire les rejets directs dans les rivières (UNICEF & WHO, 2021).
3. Surveillance régulière de la qualité de l'eau, en particulier pour les métaux lourds et la contamination fécale (APHA, 2017).
4. Sensibilisation des populations riveraines aux risques sanitaires liés à l'utilisation directe de ces eaux (Rodier et al., 2009).
5. Gestion intégrée du bassin versant urbain, incluant réduction des déchets solides et restauration écologique des berges (Meybeck, 2003).

Ces mesures permettraient de réduire les risques sanitaires et environnementaux, et d'améliorer durablement la qualité des eaux urbaines à Kinshasa.

Conclusion générale

L'analyse comparative des pollutions physico-chimiques et bactériologiques des rivières Gombe et Funa pour les périodes 2013, 2015, 2018, 2021 et 2024 révèle une dégradation progressive et préoccupante de la qualité de l'eau dans ces cours d'eau urbains. Les paramètres physico-chimiques tels que la conductivité, les solides totaux dissous, les nitrates et les phosphates dépassent régulièrement les normes de l'OMS, tandis que la contamination microbiologique par les coliformes fécaux et les germes totaux est persistante, témoignant d'un impact majeur des activités anthropiques sur ces écosystèmes aquatiques.

La comparaison entre les deux rivières montre un gradient de pollution plus marqué dans la rivière Funa, où les concentrations de métaux lourds, notamment le cadmium, et de nutriments sont systématiquement plus élevées que dans la Gombe. Cette situation illustre l'influence directe de l'urbanisation dense, des rejets domestiques et industriels, et de l'absence d'infrastructures d'assainissement adéquates sur la qualité de l'eau.

Les résultats mettent en évidence la nécessité urgente de mesures de gestion intégrée des eaux urbaines, incluant le traitement des eaux usées, le contrôle des rejets polluants, la restauration écologique des berges et la sensibilisation des populations riveraines. Sans intervention, ces rivières continueront de représenter un risque sanitaire important pour les habitants de Kinshasa et de dégrader les écosystèmes aquatiques.

Enfin, cette étude fournit des données essentielles pour orienter les politiques publiques et les stratégies de gestion durable des ressources hydriques urbaines, en contribuant à la préservation de la santé publique et à la protection des milieux aquatiques dans un contexte de croissance urbaine rapide.

Références bibliographiques

- [1]. Alloway, B. J., & Ayres, D. C. (1997). *Chemical principles of environmental pollution* (2nd ed.). Blackie Academic & Professional.
- [2]. APHA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- [3]. APHA. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (23rd ed.). American Public Health Association.
- [4] ATSDR. (2019). *Toxicological profile for lead*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services.
- [5] Bertalanffy, L. von. (1968). *General system theory: Foundations, development, applications*. George Braziller.
- [6] Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO / WHO / UNEP.
- [7] Chapman, D. (1996). *Water quality assessments: A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring* (2nd ed.). UNESCO/WHO/UNEP.
- [8] Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (4th ed.). SAGE Publications.
- [9] Förstner, U., & Wittmann, G. T. W. (2012). *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag.
- [10] Gurvitch, G. (1962). *Dialectique et sociologie*. Presses Universitaires de France.
- [11] Meybeck, M. (2003). Global analysis of river systems: From Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358(1440), 1935–1955. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1379>
- [12] Meybeck, M. (2003). Global analysis of river systems: From Earth system controls to Anthropocene syndromes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358(1440), 1935–1955. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1379>
- [13] Morin, E. (2005). *Introduction à la pensée complexe*. Éditions du Seuil.
- [14] Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., & Brunet, R. (2009). *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer* (9^e éd.). Dunod.
- [15] UNICEF, & World Health Organization. (2021). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2020: Five years into the SDGs*. WHO Press.
- [16] World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed., incorporating the 1st addendum). WHO Press.
- [17] World Health Organization. (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed., incorporating the 1st addendum). WHO Press.
- [18] Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.