

EVALUATION PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES EAUX DES SOURCES NON AMENAGEES DES COMMUNES DE KISANGANI ET DE KABONDO DANS LA VILLE DE KISANGANI (RDCONGO)

¹IUNGBI SINGA Nathan, ²WANSENDE FIASOLUA Wafi, ³EFULU BIBI Josiane, ⁴KABANGO MABILO Siméon, ⁵VANGU NZITA PHAKA Florent, ⁶MUTAMBEL'HITY DEOGRATIAS, ⁷GOLAMA SWANA KAKETA Anicet, ⁸BULUKU EKWAKWA Alain

^{1,2,3,4,5,6, &8}Faculté des Sciences et Technologie de l'Université Pédagogique Nationale de Kinshasa « UPN/Kin », Chimie de l'environnement et Santé

⁷Institut Supérieur Pédagogique de Kinshasa « ISP/Gombe », Hydrobiologie

Corresponding Author :
nathansinga88@gmail.com

To Cite This Article: EVALUATION PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE DES EAUX DES SOURCES NON AMENAGEES DES COMMUNES DE KISANGANI ET DE KABONDO DANS LA VILLE DE KISANGANI (RDCONGO) (I. S. Nathan, W. F. Wafi, E. B. Josiane, K. M. Siméon, V. N. P. Florent, M. Deogratias, G. S. K. Anicet, & B. E. Alain, Trans.). (2026). *Journal of Advance Research in Food, Agriculture and Environmental Science* (ISSN 2208-2417), 12(2), 1-15. <https://doi.org/10.61841/0kzghy26>

RESUME

Au regard de l'explosion démographique, la population se tourne vers l'utilisation des eaux de sources dans les milieux urbains, péri-urbains et ruraux du fait que, la couverture en eau potable par les services attitrés devient de plus en plus difficile. Cependant, ces eaux, souvent ne sont pas traitées ou contrôlées pour déterminer leurs qualités par rapport aux normes de potabilité mis en place par l'OMS, présentent fréquemment des problèmes de qualité et peuvent entraîner des préjudices environnementaux très graves chez les humains, les animaux et les plantes qui en consomment. Cette étude propose une analyse physico-chimique et Bactériologie approfondie capable d'évaluer la qualité de ces eaux de sources non aménagées des communes de Kabondo et de Kisangani dans la ville de Kisangani, chef-lieu de la Province de la Tshopo en République Démocratique du Congo afin de mieux informer la population utilisatrice. Raison pour laquelle, dans cette étude, nous avons évalué les paramètres physico-chimiques tels que : le pH, la température, la conductivité, le TDS, l'oxygène dissous, Matières en suspensions, la Silice, la coloration, l'odeur, le Chlorure et la turbidité, le sulfate, le Phosphate, le Nitrate, Nitrite, la DBO5 et DC tout en évaluant les paramètres bactériologiques tels que : *Coliformes fécaux*, *Streptocoques fécaux* et *Escherichia coli*. Ensuite, faire une corrélation entre ces différents paramètres, en mettant en place la classification hiérarchique en rapport avec le pH.

MOTS-CLES : Caractérisation, Physico-chimique, Bactériologique, Eau souterraine, Source.

ABSTRACT

In light of the population explosion, people are increasingly turning to spring water in urban, peri-urban, and rural areas because access to drinking water through public services is becoming more and more difficult. However, this water, often untreated or untested to determine its quality against WHO drinking water standards, frequently presents quality problems and can cause serious environmental damage to humans, animals, and plants that consume it. This study proposes a thorough physicochemical and bacteriological analysis to assess the quality of these untreated spring waters in the communes of Kabondo and Kisangani in the city of Kisangani, capital of Tshopo Province in the Democratic Republic of Congo, in order to better inform the population using this water. Therefore, in this study, we evaluated physicochemical parameters such as pH, temperature, conductivity, TDS, dissolved oxygen, suspended solids, silica, color, odor, chloride and turbidity, sulfate, phosphate, nitrate, nitrite, BOD5, and DC, while also assessing bacteriological parameters such as fecal coliforms, fecal streptococci, and *Escherichia coli*. We then correlated these different parameters by establishing a hierarchical classification based on pH.

KEYWORDS: Characterization, Physicochemical, Bacteriological, Groundwater, Source.

INTRODUCTION

L'évaluation physico-chimiques et bactériologiques de la qualité de l'eau est nécessaire pour la santé, car elle peut être contaminée par des agents pathogènes et des polluants chimiques (BOUCHARD, 2020).

Bien qu'un pays riche en ressources hydriques, La RDC fait face à de nombreux défis en matière de gestion de l'eau de bonne qualité pour la consommation (BULUKU, 2023).

Kisangani, une ville du Nord-Est de la République Démocratique du Congo, Chef – lieu de la Province de la Tshopo, composée de 6 communes et un secteur (Lubuyabera) avec une population estimée à plus de 1,6 millions d'habitants, bien que riche en ressources hydriques, mais elle reste est actuellement dépendante d'une grande partie de sa population aux eaux des Sources, des puits,..., pour les besoins quotidiens tels que boisson, vaisselle, lessive, baignade,... (KAZADI, 2019).

L'étude faite par les chercheurs en santé publique de l'Université Libre de Kisangani a révélée que, seulement 35 % des Boyomais ont accès à l'eau potable, et 22 % à une eau assainie et la grande partie de la population souffrante est celle des communes péri-urbaines telles que : LUBUNGA, KABONDO, KISANGANI, Secteur de LUBUYA BERA (FSP ULIKIS, 2022).

Pour guider notre recherche, nous nous posons la question suivante :

Est-ce que les eaux souterraines des sources non aménagées des communes de Kabondo et de Kisangani répondent-elles aux normes de potabilité de l'OMS tant sur le plan physico-chimique que bactériologique ?

En réponse à la question posée, nous formulons l'hypothèse suivante :

Les eaux souterraines des sources non aménagées des communes de Kabondo et de Kisangani ne répondraient pas aux normes de potabilité de l'OMS tant sur le plan physico-chimique que bactériologique.

L'objectif principal visé dans cette étude est de réaliser une Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de sources non aménagées des Communes de Kabondo et de Kisangani dans la ville de Kisangani afin d'évaluer leur conformité aux normes de potabilité et cela dans une période allant de 2024 à 2025.

Afin de parvenir à cet objectif principal, nous nous fixons les objectifs spécifiques suivants :

1. Identifier quelques sources d'eau fréquemment utilisés pour la consommation dans la ville de Kisangani, plus précisément dans les communes de Kabondo et Kisangani.
2. Analyser certains paramètres physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux et les comparer aux normes de potabilité de l'OMS.

Excepté l'introduction et la conclusion, la présente étude comportera deux parties dont :

- Le milieu d'étude, matériel et méthodes;
- Résultats et discussion.

MILIEU D'ETUDE, MATERIEL ET METHODES

MILIEU D'ÉTUDE

COMMUNE DE KISANGANI

La commune de Kisangani est une entité administrative décentralisée promulguée par l'arrêté ministériel N° 069/0226 du 22/7/1969 du ministère de l'intérieur, elle est parmi les 6 communes composant la ville de Kisangani avec la superficie de 636km². Elle est délimitée :

- A l'Est par la rivière Avokoko qui la sépare du territoire d'Ubundu au PK20 sur la route Ituri, GPS (00°30'994")
- A l'Ouest par la commune Makiso et la rivière Makiso, GPS (00°30'342") ;
- Au Nord par les communes Kabondo et Makiso, GPS (00°30'639") ;
- Au sud par le fleuve Congo qui la sépare de la commune Lubunga, GPS (00° 30' 342").

Cette commune est créée après l'époque coloniale, soit en 1969. Avant, elle était considérée comme une de chefferie wagenya arabisée. Son économie est basée sur la pêche, l'élevage et l'agriculture combinée avec d'autres petits commerces et fabrication des briques cuites.

Elle est dominée par le wagenya, les arabisés, les Kumu, les Songe, les Kusu, ...

La langue dominante est le Swahili qui représente presque 65% de la population, contre 35% de Lingala.

Elle possède 6 quartiers avec plusieurs nouvelles cités notamment Katshuya, Pk 7 route Aéroport, ..., le nombre total d'habitants est estimé à plus 200.000 habitants en 2023. (Bureau Communal de Kisangani)

COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES SITES DE PRELEVEMENT

Tableau 5 : Noms des sources d'eau et leurs coordonnées géographiques

N°	Noms des sources	Coordonnées géographiques	
1	Katshuya 1	E: 025° 13' 361''	N: 00° 29' 511''
2	Katshuya 2	E: 025° 13' 413''	N: 00° 29' 280''
3	Iere Avenue Brazza	E: 025° 13' 120''	N: 00° 29' 236''
4	Pk7 Route Bangboka	E: 025° 13' 187''	N: 00° 29' 817''

COMMUNE DE KABONDO

La commune de Kabondo est l'une des six communes de la Ville de Kisangani avec une superficie de 2590 ha, soit 25,9 km; elle est délimitée :

- A l'Est par la commune Kisangani au quartier Maleke, GPS (00°32'955");
- A l'Ouest par le quartier plateau boyoma/commune Makiso, GPS (00°31 '505") ;
- Au Nord par la commune Tshopo PK8 ancienne route buta, GPS (00°32'217") ;
- Au Sud par le bloc artisanal/commune Makiso (Hôpital de Référence), GPS (00°30'585").

Avec une population estimée à plus de 300.000 habitants, repartis en 108 habitants/km2, elle possède 21 quartiers administrativement (Bandundu, Bekeni, Tshopo, Lokutu, Bakusu, Masimango, Fataki, Ibambe, Kibarituri, Batama, N'sele, Maniema, FRDC, Place de Congo, Monga, Tshuapa, Basakata, Kasai, Rwenzori, Mutsholo et Musibasiba).

La source Lupiya est dans le Quartier Musibasiba, 20^{ème} et 21^{ème} Kabondo sont dans le quartier Masimango et Mapiopio est une nouvelle cité.

Elle était appelée pendant l'époque coloniale, Commune de Bruxelles, actuellement la langue la plus parlée est le Swahili qui représente presque 60% contre 40% de lingala. (Commune de Kabondo, 2024)

COORDONNEES GEOGRAPHIQUES DES SITES DE PRELEVEMENT

Tableau 7 : Coordonnées géographiques des sites de prélèvement de la commune Kabondo

N°	Noms des puits	Coordonnées géographiques	
1	Lupiya	E: 025° 14' 835''	N: 00° 31' 929''
2	Mapiopio	E: 025° 14' 788''	N: 00° 33' 116''
3	20ème Avenue	E: 025° 14' 812''	N: 00° 31' 509''
4	21ème Avenue	E: 025° 14' 876''	N: 00° 31' 455''

CARTOGRAPHIE DES SITES DE PRELEVEMENTS

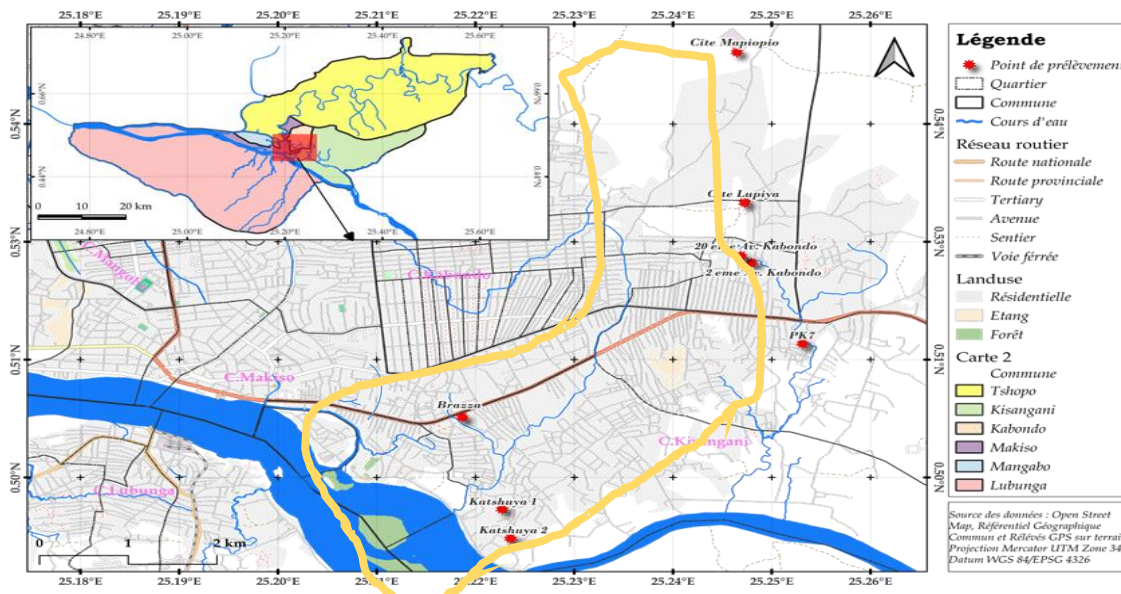


Figure 3 : Localisation géographique des sites de prélèvement dans les communes de Kabondo et de Kisangani. NB. La partie encadrée en jaune avec des points rouges montre les sites de prélèvement dans les deux communes.

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL

Le matériel principal qui a fait l’objet de notre étude est constitué des eaux souterraines des sources non aménagées des communes de Kisangani et de Kabondo comme nous montre ces images :



Figure 4: Source Katshuya 1



Figure 5: Source Katshuya 2



Figure 6: Source 1^{ère} Avenue Brazza



Figure 7: Source PK 7 Route Bangboka



Figure 8: Source Mapiopio



Figure 9: Source Lupiya



Figure 10: Source 21^{ème} Avenue



Figure 11: Source 20^{ème} Avenue

Bien que d’autres matériels ont été utilisés pour le prélèvement et analyse. Les méthodes documentaire, observatoire, interrogatoire et analytiques nous servies pour la réalisation de cette étude.

RESULTATS ET INTERPRETATION

PHYSICO-CHIMIQUES

PHYSIQUES

1. Couleur et Odeur

Tableau 9: Résultat des paramètres sensoriels des eaux de sources non aménagées de la commune de Kisangani.

Sources	Paramètres			
	Couleur		Odeur	
	Valeur obtenue	Normes OMS	Valeur obtenue	Normes OMS
COMMUNE KISANGANI				
Katshuya 1	Trouble	Incolore	Odeur	Inodore
Katshuya 2	Incolore	Incolore	Pas d’odeur	Inodore
1^{er} Av. Brazza	Trouble	Incolore	Odeur	Inodore
PK7 Kis	Trouble	Incolore	Pas d’odeur	Inodore
COMMUNE KABONDO				
Cité Lupiya	Incolore	Incolore	Pas d’odeur	Inodore
Mapiopio	Incolore	Incolore	Pas d’odeur	Inodore
20^{ème} Av. Kab	Incolore	Incolore	Pas d’odeur	Inodore
21^{ème} Av. Kab	Trouble	Incolore	Odeur	Inodore

Les résultats trouvés sur terrain par rapport aux paramètres *In Situ* organoleptiques des eaux des 4 sources analysés dans les communes de Kabondo et de Kisangani révèlent que 50% de ces eaux, soit 4 sources sont troubles et 37,5%, soit 3 sources sur 8 analysées ont des eaux ayant des odeurs.

2. Température (°C)

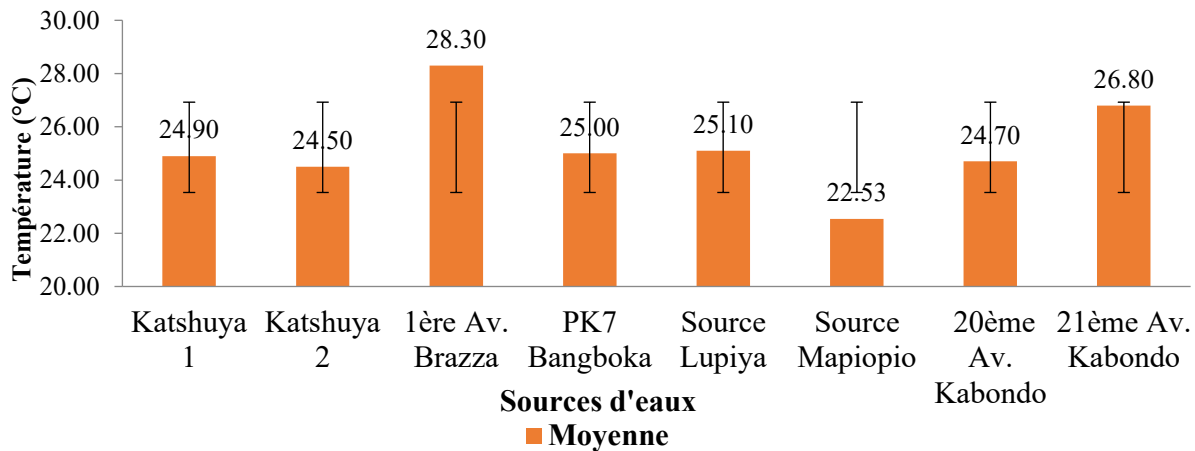


Figure 12: Moyennes des températures des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

L'analyse des résultats présentés sur la figure 12 indique que la valeur moyenne la plus élevée de la température des eaux de sources a été enregistrée à la source de la 1^{ère} Av. Brazza ($27,3 \pm 1,472^{\circ}\text{C}$), tandis que la moyenne la plus basse a été mesurée à la source Mapiopio ($24,2 \pm 1,920^{\circ}\text{C}$). Les autres sources ont présenté des valeurs moyennes intermédiaires : 21^{ème} Avenue Kabondo ($26,8 \pm 0,942^{\circ}\text{C}$), Lupiya ($25,1 \pm 0,726$), PK7 Bangboka ($25 \pm 0,927^{\circ}\text{C}$), Katshuya 1 ($24,9 \pm 1,699^{\circ}\text{C}$) et 20^{ème} Avenue Kabondo ($24,7 \pm 2,142^{\circ}\text{C}$), Katshuya 2 ($24,5 \pm 1,745^{\circ}\text{C}$)

Le test de Kruskal-Wallis a mis en évidence une différence très significative entre les différentes sources ($H = 7,06$; $p < 0,425$), traduisant une variabilité marquée de la température selon les sites.

3. pH

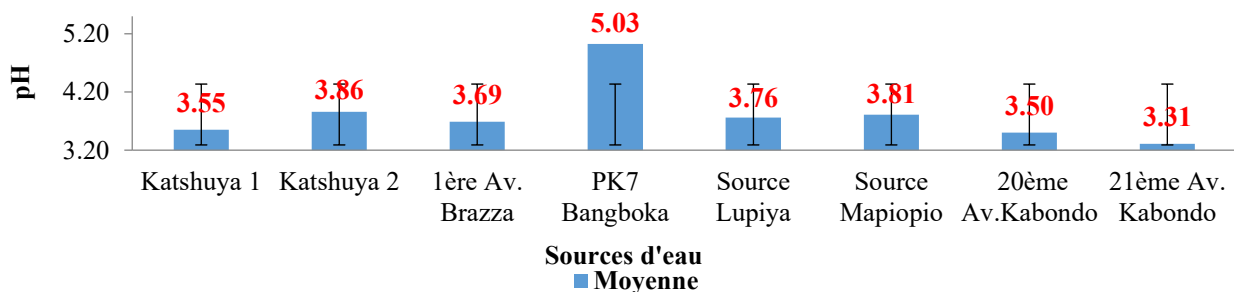


Figure 13: Moyennes des pH des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

La figure 13 présente les résultats d'analyse du pH des eaux de sources dans les communes de Kisangani et de Kabondo. La valeur moyenne la plus élevée a été enregistrée à la source PK7 Bangboka ($5,03 \pm 0,016$), tandis que la moyenne la plus faible a été observée à la source 21^{ème} Avenue Kabondo ($3,39 \pm 0,043$). Les autres sources ont affiché des valeurs intermédiaires, à savoir : Katshuya 2 ($3,86 \pm 0,022$), Mapiopio ($3,81 \pm 0,208$), Lupiya ($3,76 \pm 0,140$), 1er Avenue Brazza ($3,69 \pm 0,016$), Katshuya 1 ($3,55 \pm 0,041$) et 20^{ème} Avenue Kabondo ($3,31 \pm 0,082$).

Sur le plan statistique, l'analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé des différences hautement significatives entre les sources étudiées en ce qui concerne le pH des eaux ($H = 18,6$; $p < 0,05$).

4. Conductivité électrique (µS/cm)

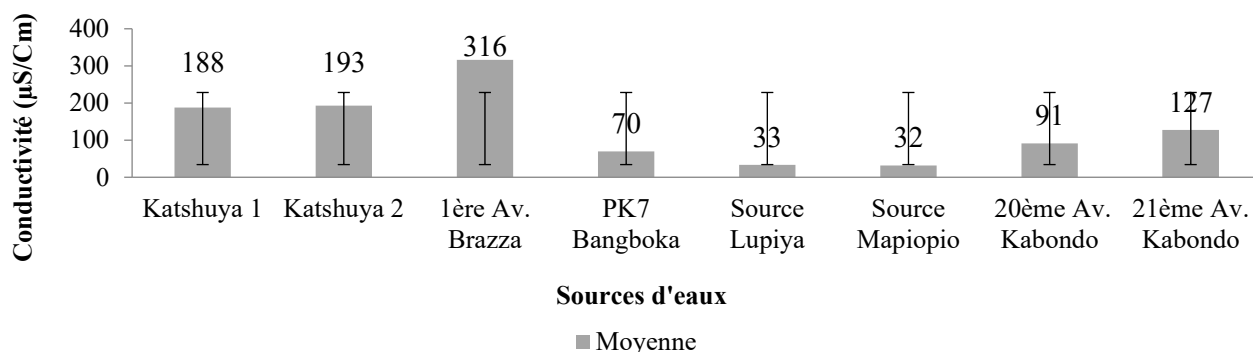


Figure 14: Moyennes des conductivités des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

D’après les données représentées dans la figure 14 en rapport avec la conductivité (µS/cm), il s’est avéré que la moyenne la plus élevée a été mesuré à la source de 1^{ère} Avenue Brazza (316 ± 2,944), indiquant ainsi une quantité relative d’ions dissous. Cependant, la moyenne la plus basse est observée dans les eaux de la source de Mapiopio (32 ± 2,160), ce qui montre la faible quantité d’ions dissous dans ces eaux. A l’intermédiaire de ces deux bornes, nous retrouvons les autres sources : Katshuya 2 (193 ± 0,000), Katshuya 1 (188 ± 2,160), 21^{ème} Avenue Kabondo (127 ± 6,164), 20^{ème} avenue Kabondo (91 ± 0,000), PK7 Bangboka (70 ± 1,247), Lupiya (33 ± 0,816).

Le test statistique de Kruskal-Wallis (H = 22,05 ; p < 0,002) confirme l’existence de différences significatives entre les sites, soulignant l’influence probable de divers facteurs écologiques ou anthropiques sur la conductivité de l’eau.

5. Turbidité (NTU)

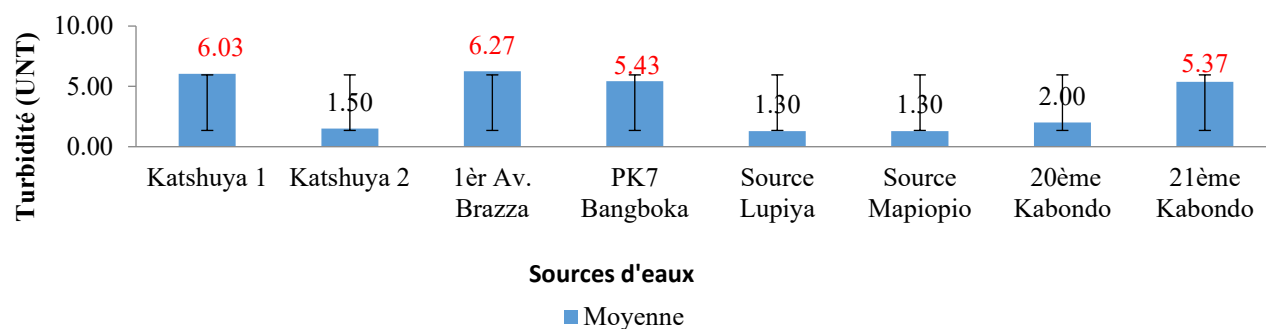


Figure 15: Moyennes des turbidités des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

Les résultats obtenus (figure 15) montrent une variabilité significative de la turbidité entre les différentes sources échantillonnées. La moyenne la plus élevée a été mesurée à la source de 1^{ère} Avenue Brazza (6,27 ± 0,047), ce qui indique le trouble élevé de ces seaux. De l’autre côté, la valeur la plus faible a été observée aux sources Lupiya et Mapiopio ayant chacune (1,3 ± 0,000). Entre ces deux bornes supérieur et inférieur, les autres sources se répartissent de façon intermédiaire, avec des valeurs suivantes : Katshuya 1 (6,03 ± 0,531), 21^{ème} Avenue Kabondo (5,37 ± 0,047), PK7 Bangboka (2,5 ± 0,000), 20^{ème} Avenue Kabondo (2,00 ± 0,005) et à la fin, Katshuya 2 (1,50 ± 0,005).

Le test de Kruskal-Wallis a confirmé cette variabilité avec une différence hautement significative entre les sites (H = 22,02 ; p < 0,0021).

6. Solides totaux dissous (TDS) en ppm

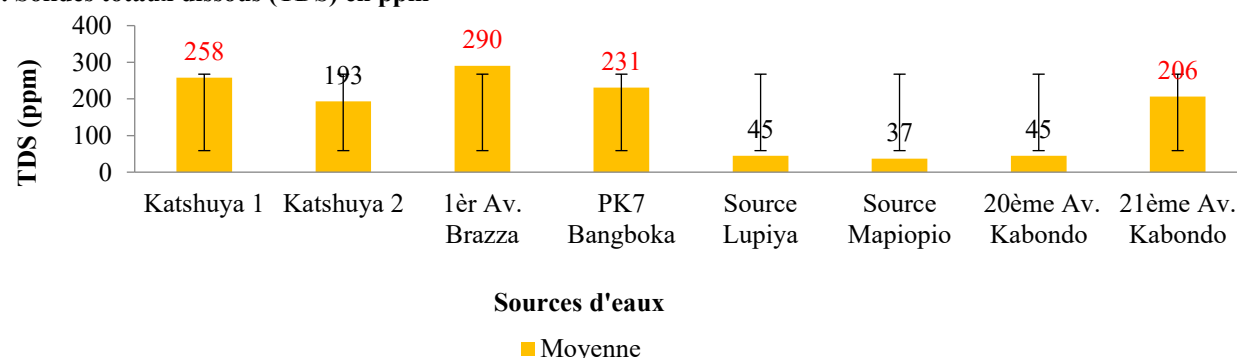


Figure 16: Moyennes de TDS dans des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et Kabondo de 2024 à 2025

Les résultats tels qu'indiqués sur la figure 16 montrent que la valeur moyenne la plus élevée de TDS des eaux de sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo a été enregistrée à la 1^{ère} Av. Brazza ($290 \pm 0,816$), tandis que la moyenne la plus basse a été obtenue à Mapiopio ($37 \pm 1,633$). Les autres sources ont présenté des valeurs moyennes intermédiaires : Katshuya 1 ($258 \pm 1,414$), PK7 Bangboka ($231 \pm 5,099$), 21^{ème} avenue Kabondo ($206 \pm 3,559$), Katshuya 2 ($193 \pm 0,816$), Lupiya ($45 \pm 1,633$) et 20^{ème} avenue Kabondo ($45 \pm 0,816$).

Le test de Kruskal-Wallis a mis en évidence une différence très significative entre les différentes sources ($H = 22,75 ; p = 0,0041$), traduisant une variabilité marquée de TDS selon les sites. $H=22,75 p=0,0041$.

7. Teneur en MES dans les eaux des sources

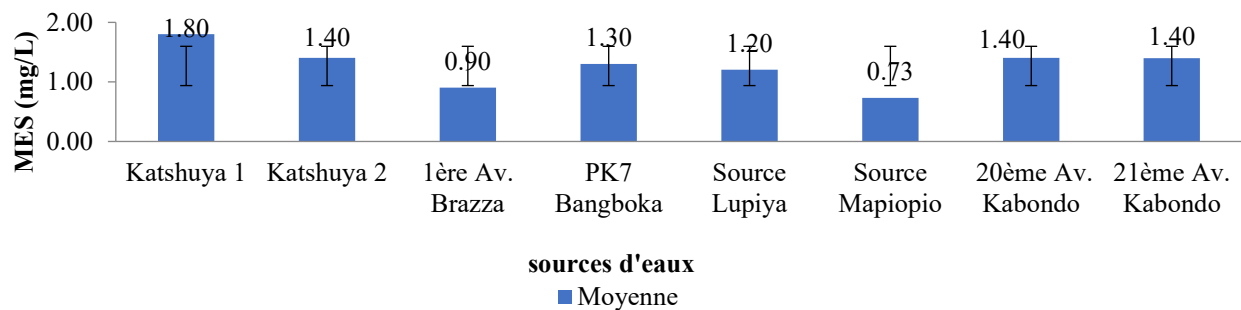


Figure 17 : Moyennes de teneurs en MES des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

Les résultats tels que présentés sur la figure 17 indiquent une variabilité significative de MES entre les différentes sources analysées. La moyenne la plus élevée a été mesurée à la source de Katshuya 1 ($1,80 \pm 0,082$) et la faible moyenne est observée à la source de Mapiopio ($0,73 \pm 0,047$). Les autres sources se répartissent de façon intermédiaire, avec des valeurs des moyennes allant de 0,90 à 1,40. Le test de Kruskal-Wallis a confirmé cette variabilité avec une différence hautement significative entre les sites ($H=21,86 ; p=0,002582$)

CHIMIQUES

1. Oxygène dissous (mg/L)

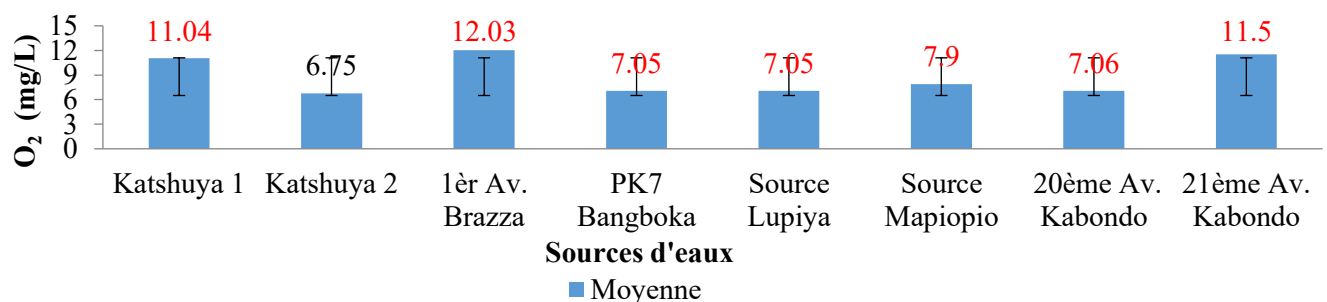


Figure 18: Moyennes de l'oxygène dissous des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

La figure 17 présente les résultats des essais d'analyse l'O₂ des eaux de sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo. La valeur moyenne la plus élevée a été enregistrée à la source de 1^{ère} Avenue Brazza ($12,03 \pm 0,500$), indiquant ainsi la quantité de l'O₂ libre dans ces eaux permettant la survie des organismes aquatiques et des micro-organismes. En outre, la plus faible valeur est vit à la source Katshuya 2 ($6,75 \pm 0,022$).

A l'intermédiaire de ces deux valeurs, se positionnent les autres sources selon l'ordre suivant : 21^{ème} avenue Kabondo ($11,5 \pm 0,616$), Katshuya 1 ($11,04 \pm 0,722$), Mapiopio ($7,9 \pm 0,648$), 20^{ème} avenue Kabondo ($7,06 \pm 0,054$), Lupiya ($7,05 \pm 0,178$), PK7 Bangboka ($7,05 \pm 0,142$).

Sur le plan statistique, l'analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé des différences hautement significatives entre les sources étudiées en ce qui concerne le pH des eaux ($H=22,75 p=0,0041$).

2. Chlorure (mg/L)

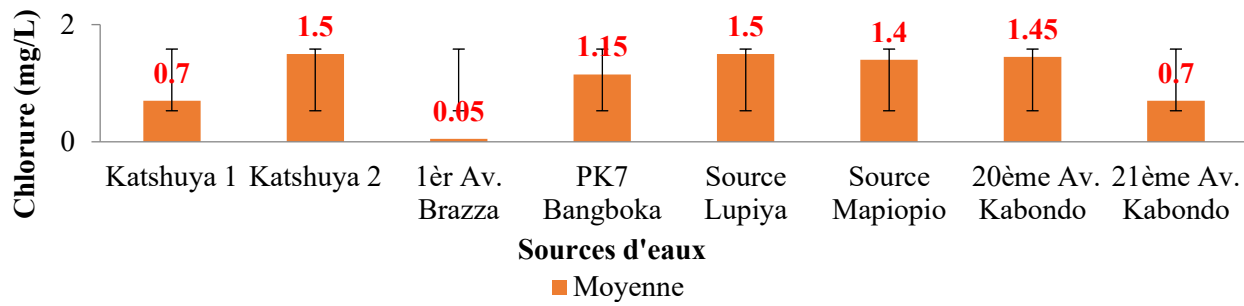


Figure 19: Moyennes de l'ion Chlorure des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

Les résultats obtenus (figure 18) montrent une variabilité significative du Cl⁻ entre les différentes sources échantillonnées. La moyenne la plus élevée a été mesurée aux sources de Katshuya 2 et Lupiya, ayant respectivement une moyenne de (1,5 ± 0,245) et la plus faible valeur à la source de 1^{ère} Avenue Brazza (0,05 ± 0,024). Les autres sources se répartissent de façon intermédiaire, avec des valeurs des moyennes allant de 0,7 à 1,45. Le test de Kruskal-Wallis a confirmé cette variabilité avec une différence hautement significative entre les sites (H = 19,83 ; p = 0,005838).

3. Teneur en Silice dans les eaux des sources (SiO₂)

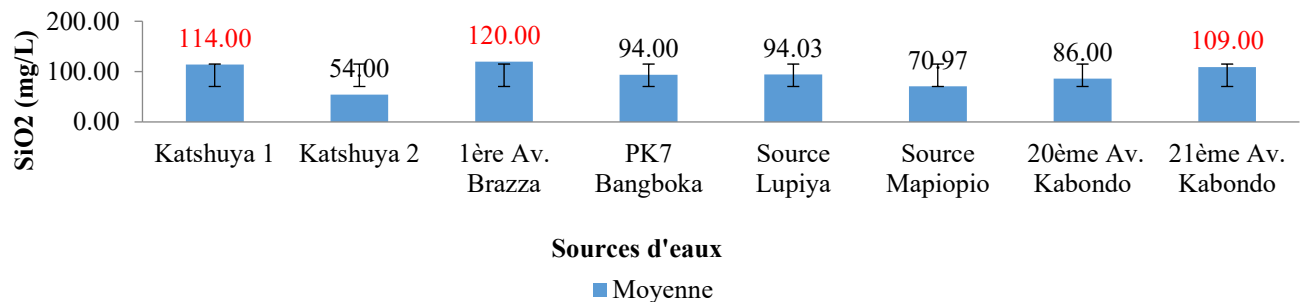


Figure 20: Moyennes de SiO₂ dans les eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

Les résultats obtenus (figure 18) montrent une variabilité significative de **Silice** entre les différentes sources échantillonnées. La moyenne la plus élevée a été mesurée à la source de 1^{ère} Avenue Brazza (120 ± 0,000) et la plus faible valeur à la source de Katshuya 2 (54 ± 0,356). Les autres sources se répartissent de façon intermédiaire, avec des valeurs des moyennes allant de 70,97 à 114.

Le test de Kruskal-Wallis a confirmé cette variabilité avec une différence hautement significative entre les sites (H=22,41 ; p= 0,002089).

4. Teneurs en DBO5 dans les eaux des sources

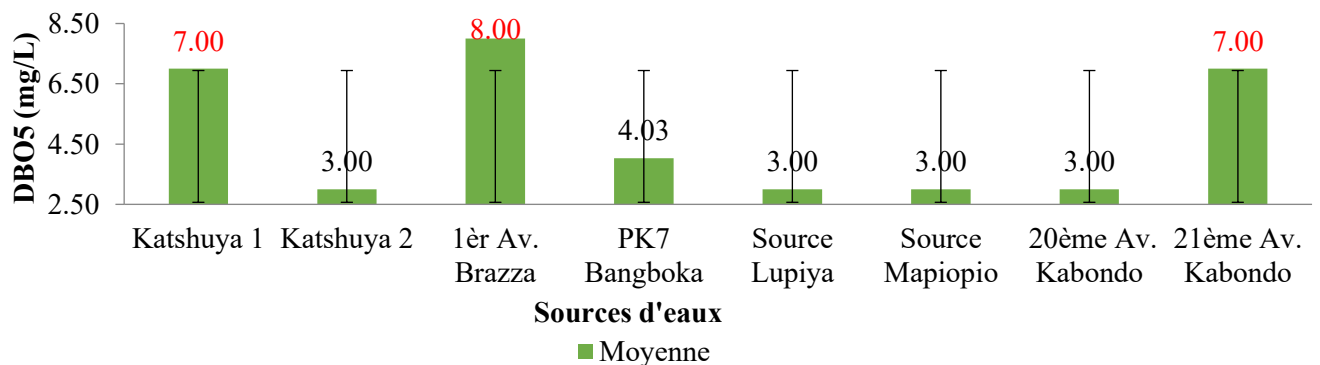


Figure 21: Moyennes de la DBO5 des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

La figure 19 présente les résultats d'analyse de la DBO5 des eaux de sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo. La valeur moyenne la plus élevée est enregistrée à la source de 1^{ère} Avenue Brazza (8 ± 0,000), indiquant ainsi la quantité des matières organiques biodégradable qui peut être dégradée par les micro-organismes. Cependant, la plus faible moyenne de cette dernière est observée aux sources Lupiya et Mapiopio ayant chacune une moyenne de (3 ± 0,000). Entre ces deux moyennes (Supérieure et inférieure), nous trouvons les autres sources telles qu'indiqués sur cette figure.

Statistiquement, l'analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé des différences hautement significatives entre les sources étudiées en ce qui concerne la DBO5, dont ($H=19,98$ $p=0,004$).

5. Teneurs en DCO dans les eaux des sources

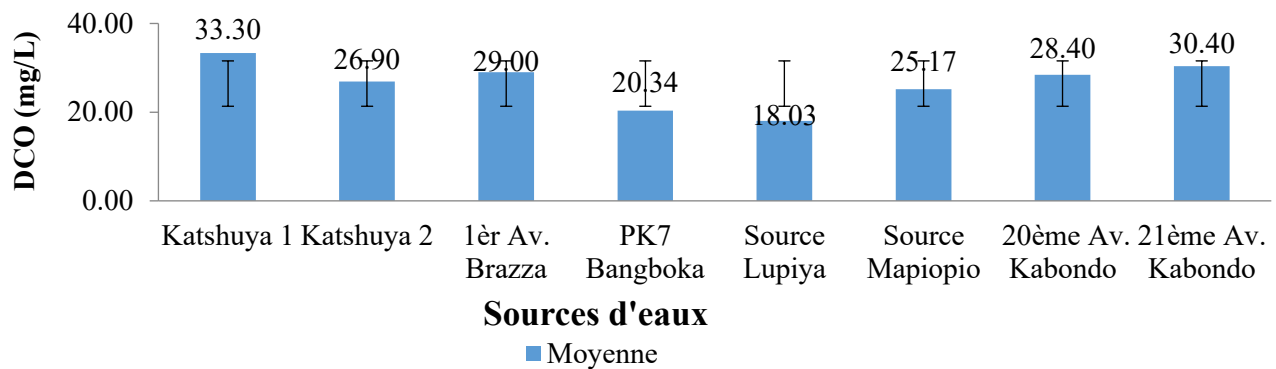


Figure 22: Moyennes de la DCO des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

La figure 20 montre les résultats d'analyse de la DCO des eaux de sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo. La valeur moyenne la plus élevée a été enregistrée à la source de Katshuya 1 ($33,3 \pm 0,572$) indiquant ainsi la quantité totale de matières organique dans l'eau, exprimée par la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les polluants. La plus basse moyenne a été détectée à Lupiya ($18,03 \pm 0,330$).

A l'intermédiaire de ces deux valeurs, se positionnent les autres sources comme suit : 21^{ème} avenue Kabondo ($30,4 \pm 0,283$), (1^{ère} Avenue Brazza ($29,003 \pm 0,086$), 20^{ème} avenue Kabondo ($28,4 \pm 0,141$), Katshuya 2 ($26,9 \pm 0,205$), Mapiopio ($25,166 \pm 0,047$), PK7 Bangboka ($20,34 \pm 0,014$).

Du point de vue statistique, l'analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé des différences hautement significatives entre les sources étudiées en ce qui concerne le DCO des eaux ($H=22,68$ $p=0,0019$).

6. Teneur en nitrite dans les eaux des sources (NO₂⁻)

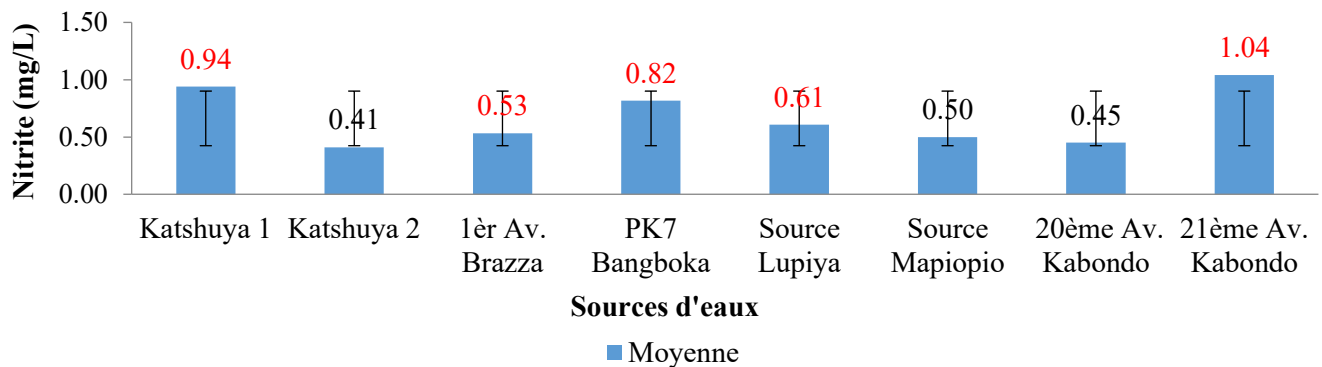


Figure 23: Moyennes de nitrite dans les eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

Les résultats obtenus (figure 21) montrent une variabilité significative du NO₂⁻ entre les différentes sources échantillonnées. La moyenne la plus élevée a été mesurée à la source de 21^{ème} avenue Kabondo ($1,04 \pm 0,014$) et la plus faible valeur à la source de Katshuya 2 ($0,41 \pm 0,014$). Les autres sources se répartissent de façon intermédiaire, avec des valeurs des moyennes allant de 0,45 à 0,94. Le test de Kruskal-Wallis a confirmé cette variabilité avec une différence hautement significative entre les sites ($H=15,96$ et $p=0,02516$).

7. Teneur en nitrate dans les eaux des sources (NO₃⁻)

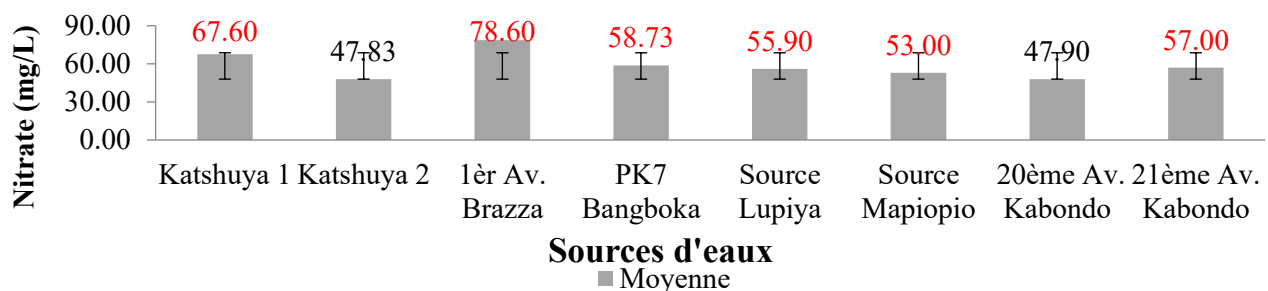


Figure 24: Moyennes de nitrate dans les eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

Les résultats illustrés à la figure 22 indique que la valeur moyenne la plus élevée de NO_3^- des eaux de sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo a été enregistrée à la 1^{ère} Av. Brazza ($78,6 \pm 0,283$), tandis que la moyenne la plus basse a été obtenue à Katshuya 2 ($47,83 \pm 0,094$). Les autres sources ont présenté des valeurs moyennes intermédiaires : Katshuya 1 ($67,6 \pm 0,726$), PK7 Bangboka ($58,73 \pm 0,125$), 21^{ème} Kabondo ($57 \pm 0,356$), Lupiya ($55,9 \pm 0,141$), Mapiopio ($53 \pm 0,000$) et 20^{ème} Av. Kabondo ($47,9 \pm 0,082$).

Le test de Kruskal-Wallis a mis en évidence une différence très significative entre les différentes sources ($H = 22,44$; $p = 0,002051$), traduisant une variabilité marquée de TDS selon les sites.

8. Teneur en phosphates dans les eaux des sources (PO_4^{3-})

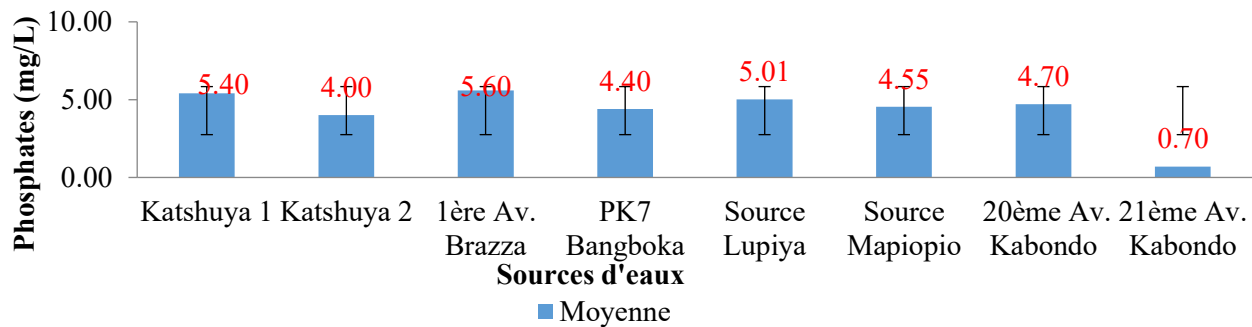


Figure 25: Moyennes de phosphates dans les eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

Sur figure 23, nous observons que la moyenne de phosphate la plus élevée est celle de la source de la 1^{ère} Avenue Brazza ($5,6 \pm 0,082$) et la plus faible moyenne est celle de la source de 21^{ème} avenue Kabondo ($0,697 \pm 0,005$). Entre ces deux moyennes (Supérieure et inférieure), nous trouvons les autres sources telles que le tableau nous montre avec une variabilité allant de 4,000 à 5,403.

Statistiquement, l'analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé des différences hautement significatives entre les sources étudiées en ce qui concerne le phosphate, dont ($H=22,29$; $p=0,002183$).

9. Teneur en sulfate dans les eaux des sources (SO_4^{2-})

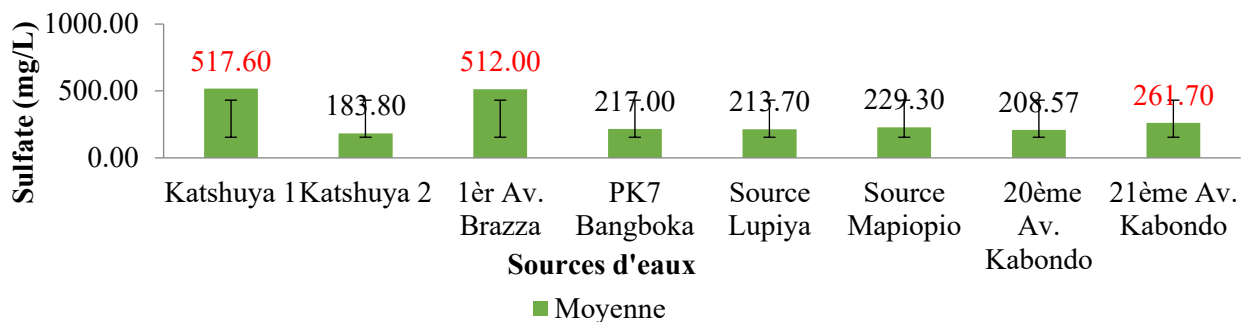


Figure 26: Moyennes de sulfate dans les eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

Les résultats obtenus (figure 24) montrent une variabilité significative du SO_4^{2-} entre les différentes sources échantillonnées. La moyenne la plus élevée a été mesurée à la source de Katshuya 1 ($517,6 \pm 0,141$) et la plus faible valeur à la source de Katshuya 1 ($183,8 \pm 0,082$). Les autres sources se répartissent de façon intermédiaire, avec des valeurs des moyennes allant de 208,567 à 512,000. Le test de Kruskal-Wallis a confirmé cette variabilité avec une différence hautement significative entre les sites ($H=22,68$; $p= 0,001877$).

**BACTERIOLOGIES
COLIFORMES FECAUX**

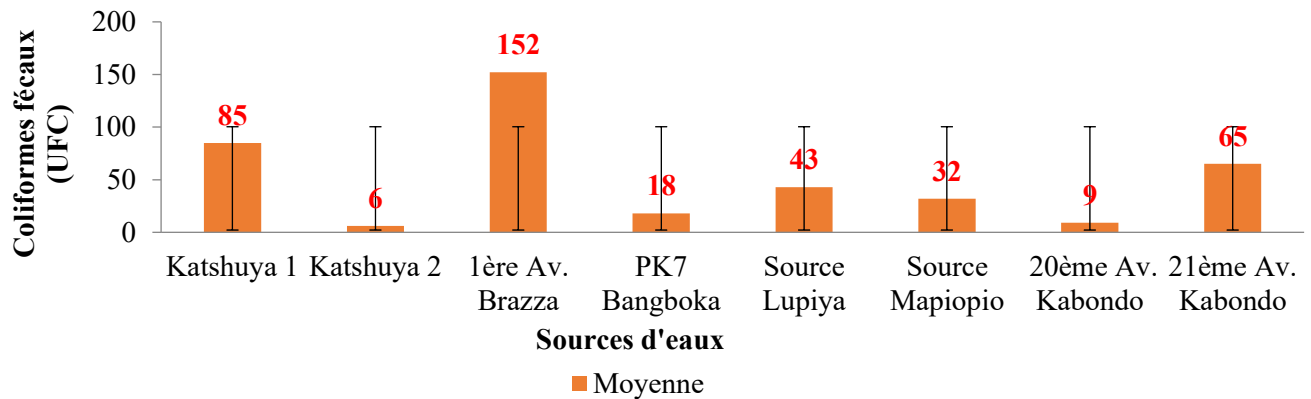


Figure 27: Moyennes des colonies de *coliformes fécaux* des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

La figure 25 présente les résultats d’analyse bactériologique des *Coliformes fécaux* des eaux de sources dans les communes de Kisangani et de Kabondo. Après l’analyse de ces dernières, il s’est avéré que la moyenne la plus élevée des colonies de ces derniers a été enregistrée à la source de 1er Avenue Brazza (152 ± 3,74). Cependant, les mêmes résultats indiquent que la plus basse moyennes de ces colonies est celle trouvée à la source Katshuya 2 (6 ± 0,82). Entre ces deux bornes, nous trouvons les autres sources selon cet ordre : 20^{ème} avenue Kabondo (9 ± 1,63), PK7 Bangboka (18 ± 2,16), Mapiopio (32 ± 1,41), Lupiya (43 ± 2,94), 21^{ème} avenue Kabondo (65 ± 1,63), Katshuya 1 (85 ± 1,73).

Sur le plan statistique, l’analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé des différences hautement significatives entre les sources étudiées en ce qui concerne les *Coliformes fécaux* des eaux (H = 22,62 ; p= 0,001951).

STREPTOCOQUES FECAUX

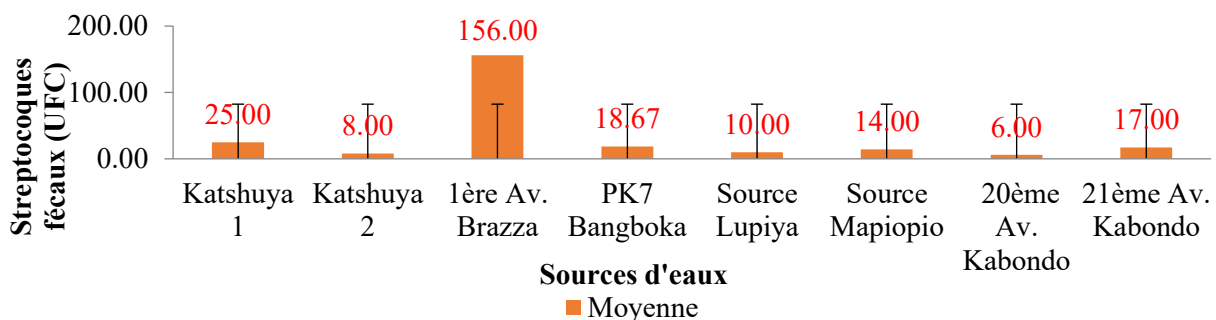


Figure 28: Moyennes des colonies de *Streptocoques Fécaux* des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

En observant la figure 26, nous voyons que la plus haute moyenne des colonies de *Streptocoques fécaux* a été trouvée à la source de 1^{ère} Avenue Brazza (156 ± 2,16) et la plus basse moyenne est celle de la source de 20^{ème} avenue Kabondo (6 ± 1,41).

Les autres résultats intermédiaires se présentent comme suit : Katshuya 2 (8 ± 2,16), Lupiya (10 ± 1,41), Mapiopio (14 ± 0,82), 21^{ème} Av. Kabondo (17 ± 2,16), PK7 Bangboka (18,67 ± 0,47), Katshuya 1 (25 ± 1,41).

Sur le plan statistique, l’analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis a révélé des différences hautement significatives entre les sources étudiées en ce qui concerne les *Coliformes fécaux* des eaux (H = 18,57 ; p= 0,004723).

ESCHERICHIA COLI

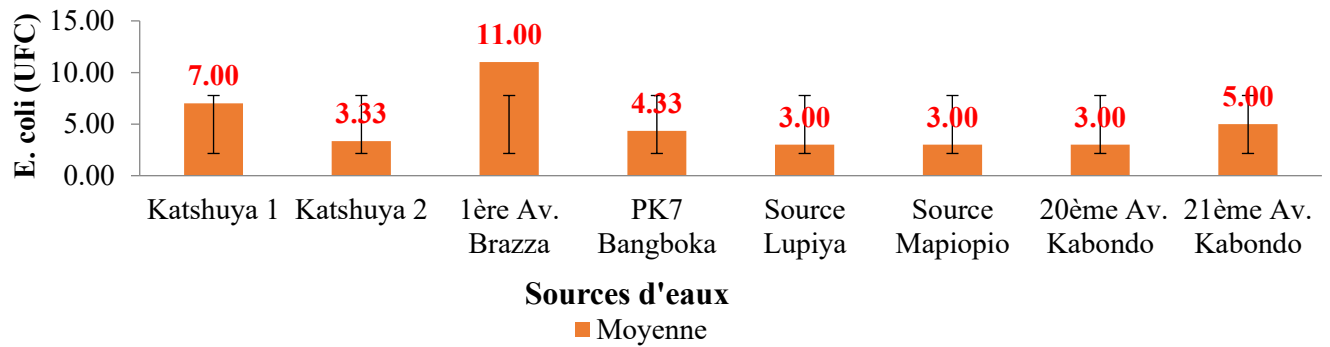


Figure 29: Moyennes des colonies d’*Escherichia coli* dans les eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

L’analyse des eaux de ces sources comme indique la figure 27 en rapport avec les colonies d’*Escherichia coli* montrent une variabilité significative de ces derniers entre les différentes sources. La moyenne la plus élevée est celle de la source de 1^{ère} Avenue Brazza ($10,67 \pm 1,25$) et la plus faible valeur est celle de la source de Mapiopio ($3,33 \pm 0,47$). Les autres sources se répartissent de façon intermédiaire, avec des valeurs des moyennes allant de 3 à 7, comme indiqué sur la figure ci-haut.

La présence de ce paramètre dans toutes ces sources montre que la contamination est récente.

Le test de Kruskal-Wallis a confirmé cette variabilité avec une différence hautement significative entre les sites ($H=16,3$; $p=0,01897$).

ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES

Les corrélations entre les paramètres bactériologiques et physico-chimiques sont présentées dans la figure 28.

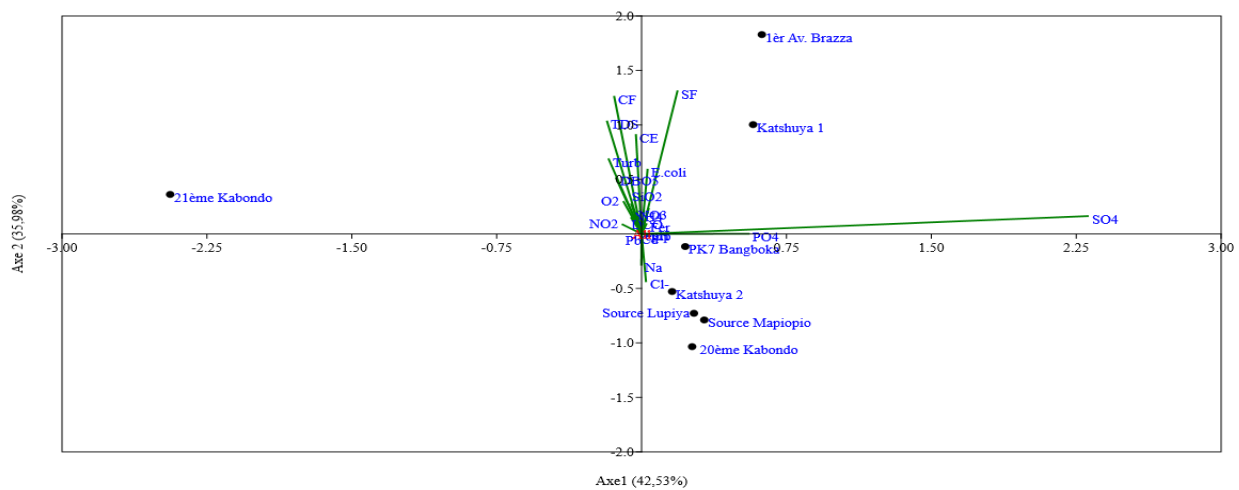


Figure 30: Corrélations entre les paramètres bactériologiques et physico-chimiques des eaux des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo

Les deux (2) premières composantes principales (PC1 et PC2) représentent environ 78,51 % de la variance totale des données, ce qui a été élevé et justifie leur utilisation pour interpréter la structure sous-jacente des variables.

En rapport avec l’axe 1, les paramètres ayant contribué pour sa formation sont : SF ($r=0.076906$), E.coli ($r=0.012828$), NO_3^- ($r=0.014946$), PO_4^{3-} ($r=0.22994$), SO_4^{2-} ($r=0.9586$), pH ($r=0.013467$), Cl- ($r=0.0093957$) et Fer ($r=0.010197$).

Les Coliformes Fécaux ont affiché des corrélations positives avec les paramètres physico-chimiques suivants : Conductivité Electrique, Température, Oxygène dissous, Total Solide Dissous, Turbidité, DCO, DBO5, ammonium, nitrite, Cadmium et Plomb.

Les corrélations positives ont été aussi observées entre les *E.coli*, *Stréptocoques fécaux* et les paramètres pH, nitrate, Phosphates, Sulfates et Fer.

CLASSIFICATION ASCENDANTE HIERARCHIQUE

La Classification Ascendante Hiérarchique des 8 sources étudiées est présentée sur ce dendromètre.

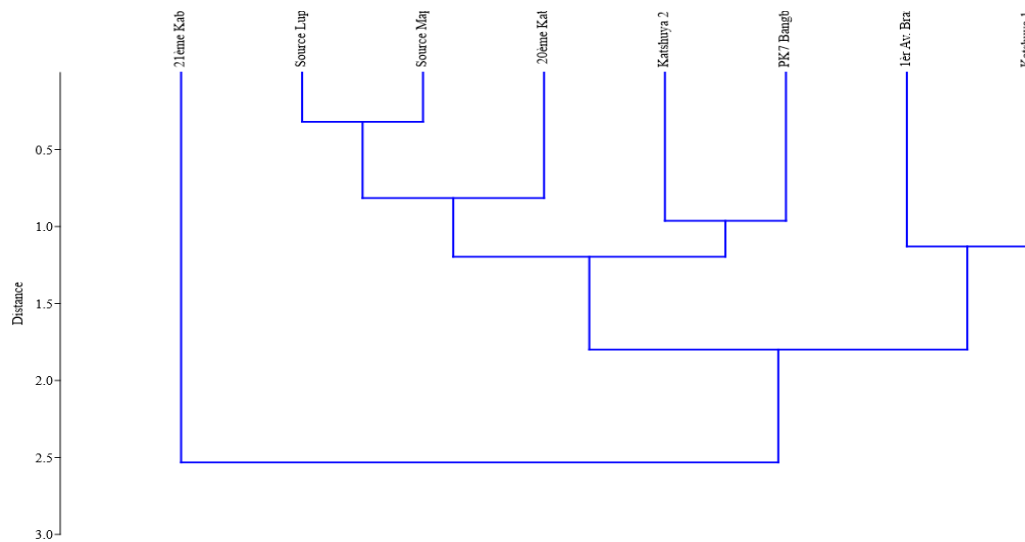


Figure 31: Classification ascendante hiérarchique des sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo de 2024 à 2025

La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) a permis de regrouper les huit (8) sources d'eau en trois (3) grands clusters homogènes, en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques :

- **Groupe 1 :** formé uniquement par la source PK7 Bangboka, s'est distinguée nettement des autres sources.
- **Groupe 2 :** il est composé de sources Katshuya 2, Mapiopio et Lupiya, ce groupe rassemble des sources ayant des caractéristiques intermédiaires. Leur proximité sur le dendrogramme reflète une similarité écologique et chimique, liée à une origine géologique et à des conditions d'exposition semblables.
- **Groupe 3 :** regroupe 1^{ère} avenue Brazza, Katshuya 1, 20^{ème} Kabondo et 21^{ème} Kabondo. Leur association dans ce cluster suggère des conditions environnementales communes et une influence anthropique similaire.

DISCUSSION

PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES

L'analyse sensorielle des eaux souterraines des huit sources non aménagées dans les communes de Kisangani et de Kabondo a révélé que 50% d'échantillons présentent une eau trouble. Il s'agit notamment des sources de : Katshuya 1, 1ère avenue Brazza, PK7 Route Bangboka et 21^{ème} avenue Kabondo. Par ailleurs, concernant l'Odeur, 37,5% d'échantillons, soit trois sources, possèdent des eaux ayant des odeurs (Katshuya 1, 1ère Avenue Brazza, 21^{ème} avenue Kabondo).

Comparativement à la norme de l'OMS (2023), stipulant que l'eau potable doit être incolore et inodore, il apparaît que les eaux des sources citées ci-haut ne répondent pas aux critères de potabilité. Ces non-conformités avaient également été observées par Bandombola en 2022, en travaillant sur l'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux des sources de la commune de Makiso, dont il avait abouti à des résultats tels que : 50% de ces échantillons d'eau étaient troubles et 64,5% avaient des odeurs. Alors que Bandombola attribuait ces résultats au manque d'entretien des sources, il en est de même que les nôtres, sauf qu'au-delà de cette cause évoquée, certaines de nos sources se retrouvent à la proximité de champs, fosses septiques et diverses activités humaines (lessivage, vaisselle, dépôt d'ordures...).

Concernant les autres paramètres physiques In situ, il s'est observé que 37,5% d'eaux des sources non aménagées analysées ont présenté des températures moyennes supérieures à la norme (1ère Avenue Brazza, Mapiopio et 21ème Avenue Kabondo), ce qui peut être lié aux conditions climatiques et aux activités anthropiques environnantes. De plus, 100% de sources ont affiché des valeurs de pH très basses par rapport à la norme. Ce constat rejoint celui de Lambert Singa en 2023, qui avait observé des faibles valeurs de pH sur les trois sources analysées dans la commune de Lubunga. Ces faibles pH peuvent s'expliquer par la nature du sol et d'autres facteurs environnementaux comme le métabolisme des organismes.

La turbidité et le TDS montrent que 50% d'eaux analysées ne respectent pas la norme OMS (Katshuya 1, 1ère Avenue Brazza, PK7 Route Bangboka et 21ème Avenue Kabondo). Cette observation est cohérente avec les caractéristiques de coloration des mêmes sources. En effet, ces quatre sources ont présenté des eaux très troubles, avec des valeurs de NTU dépassant les seuils admis par l'OMS.

En comparant ces résultats d'avec ceux obtenus par Golama S. et J-J. Symoens en 1990 en travaillant sur la Caractérisation physiques et chimiques de quelques cours d'eau de Kisangani, nous observons une similarité des résultats, même si les leurs avaient des valeurs de NTU bien plus supérieurs aux normes de l'OMS. De l'autre côté, une disparité est constatée

entre nous et Esther Lifita en 2024 en travaillant sur la qualité des eaux de sources rurales des PK 8 et 9 route Buta, où 100% des eaux respectaient les normes OMS de ces deux paramètres. Ces différences peuvent s'expliquer par la variabilité des sites, le temps, environnement et les activités humaines diverses telles que l'agriculture, les travaux ménagers, et la mauvaise gestion des déchets autour de nos sources.

Concernant la conductivité, toutes les eaux analysées sont conformes aux normes de l'OMS. Ce résultat est en accord avec ceux de Kazadi (2022) sur les eaux des sources de Makiso et de Bakoyogo (2019) sur la rivière Lindi, axe Yangambi. Cette conformité pourrait s'expliquer par l'absence d'importantes activités industrielles à Kisangani et ses environs.

La silice (SiO₂) montre que 37,5% d'eaux analysées se retrouvent hors norme. Il s'agit des sources suivantes : Katshuya 1, 1ère Avenue Brazza et 21ème Avenue Kabondo, qui dépassent ces limites. À l'inverse, lorsqu'on voit les résultats trouvés par TWA en travaillant sur les eaux de puits du village Mabalako dans la région de Butembu, il avait abouti à des concentrations de SiO₂ très supérieures aux normes. Ces résultats rejoignent ceux obtenus dans nos trois sources mentionnés haut dont nous associons ce dépassement à l'environnement où se trouvent ces sources.

Les résultats trouvés après analyse de ces deux paramètres, Demande chimique en oxygène (DCO) et de Demande biologique en oxygène sur 5 jours (DBO5) avec les normes de l'OMS, nous constatons que tous nos sources sont conformes en DCO et DBO5, ont montré que la DCO est conforme à 100% dans ces sources, alors que 37,5% de ces mêmes sources, soit 3 sources (Katshuya 1, 1ère Avenue Brazza et 21ème Avenue Kabondo) ont des valeurs de DBO5 supérieures à la norme OMS des eaux potables. Cette non-conformité de la DBO5 peut s'expliquer par une forte présence de micro-organismes dans ces eaux.

100% des sources étudiées présentent des concentrations de chlorures (Cl⁻) et de phosphates (PO₄³⁻) dépassant les normes de l'OMS. Par ailleurs, 75% des sources, soit six (Katshuya 1, 1er Avenue Brazza, PK7 Route Bangboka, Mapiopio, Lupiya et 21^{ème} avenue Kabondo), affichent des teneurs en nitrites (NO₂⁻) et nitrates (NO₃⁻) supérieures aux limites fixées.

Une situation similaire a été observée par Lambert Singa, qui étudiait les eaux des sources de PK 25 route Opala et a constaté des concentrations élevées, phosphates (PO₄³⁻), Chlorure (Cl⁻) et Nitrate (NO₃⁻). Ce phénomène pourrait être lié aux activités autour des sources, telles que les baignades, le lavage, les rejets d'eaux usées domestiques, ainsi qu'à la nature du sol environnant.

En ce qui concerne le sulfate (SO₄²⁻), trois sources (Katshuya 1, 1ère Avenue Brazza et 21ème Avenue Kabondo), soit 37,5% de notre échantillon, présentent des valeurs hors normes. En comparant avec l'étude de Nathan et al. (2019) sur la qualité physico-chimique de la rivière Tshopo à Kisangani, on note une similarité des résultats pour ce paramètre. Alors que leurs explications faisaient référence à la présence d'usines (BRALIMA, REGIDESO, SNEL) longeant la rivière, nos dépassements peuvent s'expliquer par les activités humaines, la proximité de fosses septiques, la gestion des ordures ménagères et autres facteurs anthropiques autour de nos sources.

PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES

La contamination d'origine fécale a été importante. La présence de *Escherichia coli* nous renseigne sur une contamination *fécale récente*, ce qui signifie qu'il y aurait un risque probable que les germes pathogènes fécaux dans ces eaux ou d'autres agents pathogènes liés à la pollution fécale ou issue d'autres origines soient dangereux pour la santé (OMS, 2004 ; temgoua et al., 2005). La consommation de ces eaux expose la population de ces deux communes en particulier et de la ville de Kisangani en générale à des nombreux problèmes environnementaux et sanitaires, étant donné que ces eaux contiennent les taux considérables de *Escherichia coli*, *Coliformes fécaux* et de *streptocoques fécaux* (OMS, 2023).

Nous avons comparé nos résultats aux normes de Feachem qui définissent la concentration maximale admissible tolérable des microorganismes indicateurs de pollution dans l'eau de consommation ainsi que l'ancienneté de cette contamination. Selon la classe de Feachem, les échantillons d'eau de 8 sources des communes de Kabondo et de Kisangani prouvent que toutes ces eaux ont des risques de contaminations intermédiaires, sauf les eaux de source de la 1^{ère} avenue Brazza dans la commune Kisangani) qui présentent un haut risque et deux autres sources (Katshuya2 et 20^{ème} Avenue Kabondo qui ont des bas risques. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par Matthieu B. Hounsou (2010) sur la qualité bactériologique des eaux des sources au niveau de la commune Makiso dans la ville de Kisangani qui présentaient presque toutes des risques intermédiaires.

S'agissant de la durée de contamination selon Feachem, 100% de nos eaux ont des contaminations récentes, soit 8 sources sur 8 du fait de la présence des colonies d'*Escherichia-coli*. Les mêmes résultats sont aussi observés par NDEKO MUBEMBE en 2018 sur les eaux des sources aménagées du groupement de Kashozi en Chefferie de Kaziba en RDC dont il avait remarqué la présence des colonies des *Coliformes fécaux*, *Escherichia-coli* et *entérocoques* dans ces sources.

Il en est de même pour Begbey et Al (2010) qui ont prouvé la non-conformité de presque 95,45% pour les eaux de puit analysées dans la commune d'Abomey-Calavi (bénin). La même chose s'observe chez Nathan & All (2022) qui ont travaillé sur les eaux des sources de la commune Makiso dans la ville de Kisangani et ont prouvé que ces eaux n'étaient pas conformes à la consommation sur le plan Bactériologique.

Cette situation s'expliquerait du fait de la présence des fosses septiques et d'autres activités qui se déroulent aux alentours de nos sources analysées.

CONCLUSION

L'objectif Principal de cette étude était de déterminer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de sources non aménagées des communes de Kabondo et de Kisangani par rapport aux normes de l'OMS. Pour ce faire, une analyse Physico-chimique a été effectuée pour une gamme de 9 paramètres physico-chimiques *In situ* et 3 paramètres bactériologiques. En comparant les valeurs obtenues aux normes de l'OMS en rapport avec la potabilité, nous avons remarqué que plus de 60% de nos sources n'ont pas répondues aux normes sur le plan physico-chimique, alors que toutes ces sources sont hors norme OMS sur le plan bactériologie.

Nous déconseillons les usagers (la population) à consommer ces eaux et nous suggérons une étude approfondie pour d'autres paramètres physico-chimiques et bactériologiques afin de bien déterminer d'une manière précise la contamination de ces eaux.

RÉFÉRENCES

1. BANDOMBULA R., Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux des sources aménagées de la commune Makiso dans la ville de Kisangani en RDC, TFE en Santé Publique, ULIKIS, 2021, p29-41
2. BULUKU EA., Chimie de l'environnement, séminaire de DEA, FS, UPN, 2024, p32-40
3. Golama S. & al. (1990). « Caractéristiques physiques et chimiques de quelques cours d'eau de Kisangani (Zaïre) ». Bull. Séanc. Acad. r. Sci. Outre-Mer. 35 (1989-2) : 145 – 157.
4. HAWA SAMAKE., Analyse physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation de la ville de Bamako. Thèse, Université de Bamako, 2002, pp. 18-25.
5. KAYEMBE M J., Impact des effluents urbains sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des rivières Bumbu, Funa et du Canal de drainage du Camp KOKOLO à Kinshasa/RD Congo, Thèse, UPN, FS, Chimie, 2020, p26-43
6. KAZADI M Z., Contribution à l'étude de la qualité et de la gestion de l'eau de boisson dans la région de Kisangani, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, Dep. Sciences Biotechnologiques, 2012, 145 p.
7. MOISSOU LAGNIKA & AL., Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Benin, Afrique de l'ouest), journal of Applied biosciences, ISSN 1997 – 5902, vol 79, juillet 2014, p(1-13)
8. NATHAN I.S & AL., Analyse physico-chimique des eaux de la rivière Tshopo et son impact sur les êtres vivants dans la ville de Kisangani, IJRDO, Vol5 (5), 2019, p2-6
9. NGELINKOTO P., Toxicologie et ecotoxicologie, Séminaire inédit, DEA Chimie et Environnement, FS, UPN, 2024, p6-13
10. NIYOYITUNGIYE L. & AL., Assessment of Physico-Chemical Characteristics of Water at Selected Stations of Lake Tanganyika, Stations of Lake Tanganyika, Africa with Special Emphasis on Pisciculture Purposes, International Journal of Basic and Applied Biology, Volume 6, Issue 3; July-September, 2019, pp. 211-217
11. NDEKO MUBEMBE & AL., Analyse Bactériologique et physico-chimique des eaux des sources aménagées du groupement de Kashozi en Chefferie de Kaziba en RDC, Bulletin scientifique sur l'environnement et biodiversité, 5(a), 1-11, 2018, p1-8
12. NYAKABWA M., Phytocénose de l'écosystème urbain de Kisangani, Thèse de doctorat en Botanique, UNIKIS, 1982, p15-23
13. OMS : Directives de qualité pour l'eau potable, 4e éd., Genève, 2024, pp. 11-13.
14. OTAMONGA JP., : Méthodes physico-chimiques d'analyse environnementale, Séminaire inédit, DEA Chimie et Environnement, FS, UPN, 2024, p12-56
15. RODIER J., Analyse de l'eau naturelle, eau résiduaire et eau de la mer, Dunod. 9^{ème} ed. , Paris, 2009, p1243-1272.
16. SIKULISIMWA PC., Traitement des eaux, cours Inédit, Faculté des Sciences, UNIKIN, 2013, p28-35
17. ULIKIS : Problématique de l'eau potable dans la ville de Kisangani, rapport d'évaluation, FSULIKIS, 2022, p17 – 26
18. WANSENDE & AL., Caractérisation physico-chimique et bactériologique de l'eau du robinet de la division d'assainissement de limete – kinshasa stockee a des fins domestiques, Article publié dans NN, 2024
19. WATERAID, Politique de la qualité de l'eau, Madagascar, 2004, pp. 8-14.