

Évaluation de la qualité microbiologique des eaux de puits et de forages durant la saison pluvieuse dans la commune de Makiso, Kisangani (RDC)

Moussa Issoufou Djibo

Mastérant, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi), département de Chimie Analytique Appliquée à la Technologie de déchets, Kisangani, RD Congo

Zoé-Arthur Kazadi Malumba

Professeur Ordinaire, Université de Kisangani (UNIKIS),
Département des Sciences Biotechnologiques, RD Congo

Joseph Saile Isaka

Professeur, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi), Kisangani, RD Congo

Pascaline Likango Lutha

Doctorante, Département de Chimie et Industries agricoles,
Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi), Kisangani, RD Congo

Benjamin Dowiya Nzawe

Professeur Ordinaire, Laboratoire de Génétique et Amélioration des Plantes (LGAP), Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi), Kisangani, RD Congo

[Doi:10.19044/esj.2026.v22n21p85](https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n21p85)

Submitted: 23 April 2026

Accepted: 20 June 2026

Published: 31 July 2026

Copyright 2026 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Issoufou Djibo, M., Kazadi Malumba, Z.-A., Saile Isaka, J., Likango Lutha, P., & Dowiya Nzawe, B. (2026). *Évaluation de la qualité microbiologique des eaux de puits et de forages durant la saison pluvieuse dans la commune de Makiso, Kisangani (RDC)*. European Scientific Journal, ESJ, 22 (21), 85. <https://doi.org/10.19044/esj.2026.v22n21p85>

Résumé

Dans la commune Makiso à Kisangani, les eaux de puits et de forages sont largement utilisées pour satisfaire les besoins en eau de consommation des populations. La présente étude vise à évaluer la qualité microbiologique de ces eaux destinées à la consommation humaine durant la saison pluvieuse. Cinq (5) puits et cinq (5) forages ont été sélectionnés et échantillonnés au cours

de trois campagnes d'échantillonnage réalisées uniquement pendant la saison pluvieuse, soit un total de trente (30) échantillons analysés. Les analyses microbiologiques ont porté sur la recherche des coliformes totaux, coliformes fécaux, *Escherichia coli*, streptocoques fécaux, *Salmonella/Shigella* et germes totaux par la méthode d'ensemencement en profondeur. Les résultats obtenus ont montré une absence totale d'*Escherichia coli* et de streptocoques fécaux dans l'ensemble des échantillons analysés, indiquant une conformité de 100 % par rapport aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). En revanche, une forte contamination par les germes totaux a été observée avec une absence totale de conformité dans les puits et les forages. Les coliformes totaux étaient présents dans la majorité des échantillons avec seulement 13,33 % de conformité. Les coliformes fécaux présentaient des taux de conformité variant entre 40 % et 66,66 %, tandis que *Salmonella* spp. a été détecté à faible concentration dans certains échantillons, avec des taux de conformité de 73,33 % dans les puits et 93,33 % dans les forages. Malgré l'absence d'*Escherichia coli* et de streptocoques fécaux, les eaux étudiées demeurent globalement impropres à la consommation humaine en raison de la forte contamination microbiologique observée. Un traitement préalable avant consommation, notamment par chauffage ou désinfection, apparaît nécessaire afin de garantir la sécurité sanitaire des consommateurs.

Mots-clés: Évaluation ; Qualité microbiologique ; Eau ; Puits ; Forages ; Makiso ; Kisangani

Évaluation de la qualité microbiologique des eaux de puits et de forages durant la saison pluvieuse dans la commune de Makiso, Kisangani (RDC)

Moussa Issoufou Djibo

Master, Faculty Institute of Agronomic Sciences of Yangambi (IFA-Yangambi), Department of Analytical Chemistry Applied to Waste Technology, Kisangani, DR Congo

Zoé-Arthur Kazadi Malumba

Ordinary Professor, University of Kisangani (UNIKIS),
Department of Biotechnological Sciences, DR Congo

Joseph Saile Isaka

Professeur, Institut Facultaire des Sciences Agronomiques de Yangambi (IFA-Yangambi), Kisangani, RD Congo

Pascaline Likango Lutha

PhD Candidate, Department of Chemistry and Agricultural Industries,
Faculty Institute of Agronomic Sciences of Yangambi (IFA-Yangambi),
Kisangani, DR Congo

Benjamin Dowiya Nzawe

Ordinary Professor, Laboratory of Genetics and Plant Improvement (LGAP),
Faculty Institute of Agronomic Sciences of Yangambi (IFA-Yangambi),
Kisangani, DR Congo

Abstract

In Makiso Municipality, Kisangani, well and borehole water are widely used to meet the drinking water needs of the population. The present study aimed to assess the microbiological quality of these waters intended for human consumption during the rainy season. Five (5) wells and five (5) boreholes were selected and sampled during three sampling campaigns conducted exclusively in the rainy season, giving a total of thirty (30) analyzed samples. Microbiological analyses focused on the detection of total coliforms, fecal coliforms, *Escherichia coli*, fecal streptococci, *Salmonella* spp., and total bacterial counts using the pour plate method. The results showed a complete absence of *Escherichia coli* and fecal streptococci in all analyzed samples, indicating 100% compliance with the World Health Organization (WHO) guidelines. On the other hand, high contamination by total germs was observed with a total lack of compliance in the wells and boreholes. Total coliforms were present in most samples, with only 13.33% compliance. Fecal coliforms showed compliance rates ranging from 40% to 66.66%, while *Salmonella* spp. was detected at low concentrations in some samples, with

compliance rates of 73.33% in wells and 93.33% in boreholes. Despite the absence of *Escherichia coli* and fecal streptococci, the studied waters remain globally unsuitable for human consumption due to the high microbiological contamination observed. Preliminary treatment before consumption, particularly through boiling or disinfection, appears necessary to ensure consumer health safety.

Keywords: Assessment; Microbiological quality; Water; Wells; Boreholes; Makiso; Kisangani

Introduction

La qualité de l'eau potable représente un enjeu sanitaire majeur, particulièrement dans les régions où les populations dépendent de sources d'eau non contrôlées (Sing et al., 2019 ; Tachoumou et al., 2023). Bien que l'eau soit indispensable à la vie, sa contamination demeure une cause importante de morbidité et de mortalité à l'échelle mondiale (Nathan et al., 2025). Les données épidémiologiques indiquent qu'environ 2,6 millions de décès annuels sont attribuables à la consommation d'eau insalubre, principalement en raison des contaminations d'origine fécale. Ce problème est particulièrement accentué dans les contextes où les infrastructures d'approvisionnement en eau potable et les systèmes d'assainissement restent insuffisants ou défectueux (OMS, 2023 ; SI, 2025). En Afrique subsaharienne, plus de 400 millions de personnes n'ont toujours pas accès à une eau de boisson gérée de manière sûre (UNICEF, 2022).

La République Démocratique du Congo (RDC), malgré ses importantes ressources hydriques, illustre ce paradoxe. Le pays présente en effet l'un des plus faibles taux d'accès à l'eau potable et à l'assainissement en Afrique subsaharienne (Carbonnelle et al., 1987 ; Zeufack et al., 2024). Cette situation contraint une grande partie de la population à s'approvisionner à partir de sources alternatives telles que les puits et les forages, dont la qualité microbiologique demeure rarement contrôlée.

Dans la ville de Kisangani, chef-lieu de la province de la Tshopo, les interruptions fréquentes du réseau de distribution d'eau potable dans la commune de Makiso obligent les populations à recourir massivement aux eaux souterraines pour leurs besoins domestiques. L'utilisation croissante de ces points d'eau s'accompagne d'une augmentation des maladies diarrhéiques et hydriques, soulignant ainsi l'importance d'évaluer leur qualité microbiologique. Bien que certaines études aient documenté la contamination des eaux de surface en RDC, les données relatives à la qualité microbiologique des eaux souterraines à Kisangani, notamment dans la commune de Makiso et durant la saison pluvieuse, demeurent encore limitées.

La présente étude vise à déterminer la qualité microbiologique des eaux de puits et de forages utilisées pour la consommation humaine dans la commune de Makiso à Kisangani durant la saison pluvieuse. Plus spécifiquement, elle vise à déterminer les concentrations des indicateurs de contamination fécale, notamment les coliformes totaux, les coliformes fécaux, *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux, ainsi qu'à rechercher la présence de bactéries du groupe *Salmonella* spp. dans dix points d'eau (cinq puits et cinq forages) suivis au cours de trois campagnes d'échantillonnage. En comparant les deux types d'ouvrages hydrauliques, cette étude vise à fournir des données scientifiques utiles pour la gestion locale des ressources en eau et la protection de la santé publique.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

La ville de Kisangani chef-lieu de la province de Tshopo est située au Nord-Est de la République Démocratique du Congo, elle s'étend sur une superficie de 1910 Km² et elle compte environs 853 616 habitants (UN-Habitat, 2026). Elle est divisée en six (6) communes urbaines : Makiso, Kisangani, Tshopo, Mangobo, Kabondo et Lubunga (ACF, 2009). La présente étude a été réalisée dans la commune de Makiso (Figure 1).

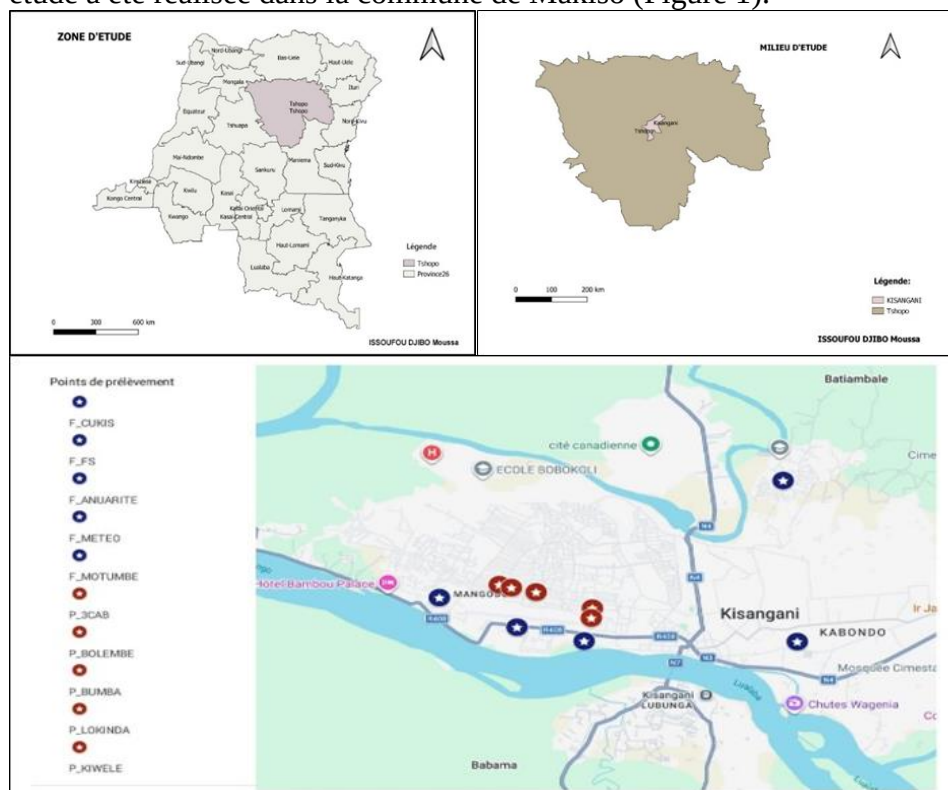


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

Dans la commune de Makiso, les ouvrages d'approvisionnement en eau souterraine de nos échantillons sont de deux types : des puits traditionnels et des forages. Les puits, creusés localement avec du matériel basique, présentent souvent des dispositifs de protection insuffisants. Les forages sont généralement mieux aménagés, avec un tubage et système de captage et semblent moins exposés aux contaminations environnementales.

Méthodes d'enquête

La collecte des données a été réalisée auprès des résidents utilisant les eaux de puits et de forages comme principales sources d'approvisionnement en eau de consommation. Une enquête par questionnaire, complétée par des observations directes sur le terrain, a permis d'identifier et de caractériser les différents sites de prélèvement. Les points d'eau ont été sélectionnés en fonction de leur fréquence d'utilisation par les populations, de leur accessibilité, de leur répartition spatiale dans la commune Makiso ainsi que de leur importance comme sources d'eau domestique.

Collecte des échantillons

L'étude a porté sur dix (10) points d'eau, dont cinq (5) puits et cinq (5) forages, répartis dans différents quartiers de la commune Makiso à Kisangani. Les prélèvements ont été réalisés au cours de trois (3) campagnes d'échantillonnage effectuées durant le mois de novembre 2025, correspondant à la saison pluvieuse. Au total, trente (30) échantillons d'eau ont été analysés, soit un prélèvement par site et par campagne.

Les échantillons ont été collectés dans des flacons stériles de 300 ml, tôt le matin entre 7 h et 14 h. Après prélèvement, les échantillons ont été conservés dans une glacière contenant des glaçons et transportés à une température d'environ 4 °C conformément aux recommandations de Rodier et al. (2009), puis acheminés au laboratoire de microbiologie de la Faculté des Sciences de l'Université de Kisangani (UNIKIS) pour analyses.

Méthodes d'analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques ont été réalisées selon la méthode d'ensemencement en profondeur conformément aux recommandations de la norme ISO 8199 (1988). Cette méthode consiste à introduire 1 ml de l'échantillon dans une boîte de Pétri stérile avant d'y ajouter le milieu de culture en surfusion. Après homogénéisation et solidification du milieu, les boîtes ont été incubées à des températures appropriées selon le paramètre microbiologique recherché.

Les résultats microbiologiques initialement obtenus en UFC/ml ont été convertis en UFC/100 ml afin de faciliter la comparaison avec les normes de potabilité de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et les données de la

littérature scientifique. Les différents milieux de culture et conditions d'incubation utilisés pour les analyses microbiologiques sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Méthodes d'analyses microbiologiques utilisées

Paramètres	Méthodes	Milieux de culture utilisés	Conditions d'incubation	Références
Coliformes totaux	Méthode d'ensemencement en profondeur	E.M.B. Levine Agar	37 °C pendant 24 h	Delarras (2007) ; Rodier et al. (2009)
Coliformes fécaux	Méthode d'ensemencement en profondeur	E.M.B. Levine Agar (Eosin Methylene Blue)	44 °C pendant 24 h	Rodier et al., 2009
<i>Escherichia coli</i>	Méthode d'ensemencement en profondeur	E.M.B. Levine Agar	44 °C pendant 24 h	Rodier et al., 2009
Streptocoques fécaux (Entérocoques)	Méthode d'ensemencement en profondeur	Gélose Slanetz & Bartley Agar	37 °C pendant 24 h	Rodier et al., 2009
<i>Salmonella spp.</i>	Pré-enrichissement et isolement	XLD Agar et Muller-Kauffmann Tetrathionate Broth Base	37 °C pendant 24 h	ISO 19250:2010 ; ISO 6579-1:2017
Germes totaux	Méthode d'ensemencement en profondeur	Gélose nutritive (GN)	37 °C pendant 24 h	Rodier et al., 2009

Analyses statistiques

Les données collectées ont été soumises à des analyses statistiques descriptives ainsi qu'au test t de Student à l'aide du logiciel Microsoft Excel 2016. Le test t de Student a été utilisé afin de comparer les moyennes des paramètres microbiologiques entre les eaux de puits et de forages. Les différences ont été considérées comme statistiquement significatives pour une valeur de p inférieure à 0,05.

Résultat

Paramètres de vulnérabilité

Cette étape a consisté à identifier les principaux facteurs de risque environnementaux susceptibles d'influencer la contamination microbiologique des eaux de puits et de forages dans la commune Makiso. Les informations collectées permettent de mieux comprendre l'exposition des points d'eau aux sources potentielles de pollution fécale dans le contexte local.

Les caractéristiques des différents ouvrages étudiés sont présentées dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Caractéristiques des points d'eau analysés et facteurs de risque environnementaux

N°	Point d'eau	Type	Latrine à proximité	Distance latrine (m)	Position latrine	Clôture	Couvercle	Mode d'exhaure	Etat environnement	Accès
1	CUKIS	F	Oui	6	Est	Non	-	Pompe	Un peu propre	Libre
2	Faculté de Sciences	F	Non	-	-	Oui	-	Pompe	Propre	Limitée
3	Lycée Anuarite	F	Non	-	-	Non	-	Pompe manuelle	Très propre	Limitée
4	Météo	F	Oui	15	Ouest	Oui	-	Pompe	Peu propre	Facile
5	Motumbé	F	Oui	27	Nord	Oui	-	Pompe	Sec	Assez facile
6	3^{ème} Cabine	P	Oui	11	Sud	Oui	Oui	Seau	Peu propre	Facile
7	Av. Bolembe	P	Oui	21.9	Est	Non	Non	Seau	Peu propre	Facile
8	Av. Bumba	P	Oui	23.8	Ouest	Oui	Oui	Seau	Propre	Facile
9	Av. Lokinda	P	Non	-	-	Oui	Oui	Seau	Propre	Facile
10	Av. Kiwele	P	Oui	10	Sud	Oui	Oui	Seau	Propre	Facile

Type : F = Forage ; P = Puits.

Position latrine : position relative de la latrine par rapport au point d'eau.

Av. : Avenue.

Le Tableau 2 montre que la proximité des latrines (< 30 m) observée pour la majorité des points d'eau constitue un facteur potentiel de risque de contamination fécale, particulièrement durant la saison pluvieuse. L'absence de couvercle sur certains ouvrages pourrait également favoriser l'introduction directe de contaminants dans les eaux. Bien que plusieurs points d'eau soient clôturés, cette mesure de protection paraît parfois insuffisante lorsque les latrines sont situées à faible distance des ouvrages hydrauliques. Ces observations traduisent une vulnérabilité environnementale plus importante de certains puits par rapport aux forages.

Résultats des analyses microbiologiques

Les concentrations des bactéries indicatrices de contamination dans les eaux étudiées dans les eaux de puits et de forages de la commune Makiso sont présentées dans les Tableaux 3, 4 et 5. Les résultats sont exprimés en UFC/100ml conformément aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Les Tableaux 3 et 4 présentent respectivement les valeurs minimales, maximales et les concentrations moyennes des paramètres microbiologiques déterminés dans les cinq puits et les cinq forages analysés.

Tableau 3 : Résultats des analyses microbiologiques des eaux de puits (P)

Paramètres déterminés	Concentrations isolées par points d'eau analysés (UFC/100ml) : Puits										Normes OMS UFC/100ml	% CFM
	Puits de l'Avenue 3ème Cabine		Puits de l'Avenue Bolembé		Puits de l'Avenue Bumba		Puits de l'Avenue Lokinda		Puits de l'Avenue Kiwele			
	Min-Max	Moy	Min-Max	Moy	Min-Max	Moy	Min-Max	Moy	Min-Max	Moy		
Coliformes totaux	100 - 1400	866,66	0 - 300	200	0 - 100	66,66	100 - 1900	800	200 - 4400	1766,66	0	13,33%
<i>Escherichia Coli</i>	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0	100%
Coliformes fécaux	100 - 400	200	0 - 100	33,33	0 - 0	0	0 - 200	100	100 - 1200	566,66	0	40%
Streptocoques fécaux	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0	100%
<i>Salmonella spp.</i>	0 - 100	33,33	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	100 - 800	500	0	73,33%
Germes totaux	5400 - 8300	7266,66	7600 - 21000	12833,33	3100 - 4100	3666,66	2500 - 5500	4266,66	6900 - 11400	9500	≤ 100 UFC/100ml	0%

% CFM : pourcentage de conformité microbiologique ; Moy : moyenne.

Le Tableau 3 met en évidence une contamination microbiologique importante des eaux de puits. Les germes totaux présentaient des concentrations largement supérieures aux recommandations de l'OMS dans l'ensemble des puits analysés, avec une absence totale de conformité microbiologique. Les coliformes totaux et les coliformes fécaux ont également été détectés dans plusieurs points d'eau, traduisant une contamination d'origine fécale. En revanche, *Escherichia coli* et les streptocoques fécaux n'ont pas été détectés dans les échantillons analysés.

Tableaux 4 : Résultats des analyses microbiologiques des eaux de Forages (F).

Paramètres déterminés	Concentrations isolées par points d'eau (UFC/100ml) : Forages										Normes OMS UFC/100ml	% CFM
	Forage de CUKIS		Forage de la Faculté des Sciences		Forage du Lycée Anuarite		Forage du quartier Météo		Forage du quartier Motumbé			
	Min-Max	Moy	Min-Max	Moy	Min-Max	Moy	Min-Max	Moy	Min-Max	Moy		
Coliformes totaux	100 - 400	200	1500 - 4200	3000	0 - 19600	7533,33	100 - 200	166,66	0 - 1200	600	0	13%
<i>Escherichia Coli</i>	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0	100%
Coliformes fécaux	0 - 200	100	0 - 0	0	0 - 500	166,66	0 - 100	33,33	0 - 500	166,66	0	66,66%
Streptocoques fécaux	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0	100%
<i>Salmonella spp.</i>	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 0	0	0 - 300	100	0	93,33%
Germes totaux	2500 - 6400	4033,33	5200 - 6000	5533,3	4900 - 30000	21633,33	2800 - 7700	4800	4000	5033,33	≤ 100 UFC/100ml	0%

% CFM : pourcentage de conformité microbiologique ; Moy : moyenne.

Les résultats obtenus dans les forages montrent également une contamination microbiologique des eaux, bien que certains paramètres présentent des niveaux de contamination relativement plus faibles que dans les puits. Les germes totaux demeurent très élevés dans tous les forages analysés. Une forte variabilité des concentrations a été observée entre les différents points d'eau, comme l'indiquent les écarts importants entre les valeurs minimales et maximales.

Tableau 5 : Synthèse comparative des paramètres microbiologiques entre les eaux de puits et de forages (UFC/100ml)

Paramètres déterminés	Eau de Puits			Eau de Forage			p-value	Différence	Normes OMS UFC/100ml
	Min	Max	Moy $\pm$ ET	Min	Max	Moy $\pm$ ET			
Coliformes totaux	0	4400	740 $\pm$ 1159.92	0	19600	2300 $\pm$ 4976,06	0,2548	NS	0
<i>Escherichia Coli</i>	0	0	0 $\pm$ 0	0	0	0 $\pm$ 0	0	—	0
Coliformes fécaux	0	1200	180 $\pm$ 312.13	0	500	93,33 $\pm$ 175,12	0,3584	NS	0
Streptocoques fécaux	0	0	0 $\pm$ 0	0	0	0 $\pm$ 0	0	—	0
<i>Salmonella spp.</i>	0	800	106,66 $\pm$ 246.3	0	300	20 $\pm$ 77,45	0,2112	NS	0
Germes totaux	2500	21000	7506,66 $\pm$ 4607.36	2500	30000	8206,66 $\pm$ 8957,87	0,79	NS	$\leq$ 100 UFC/100ml

ET : écart-type ; NS : différence non significative au seuil de 5 %.

Le Tableau 5 montre que les concentrations moyennes des paramètres microbiologiques variaient entre les eaux de puits et de forages. Toutefois, les différences observées n'étaient pas statistiquement significatives ($p > 0,05$). Les écarts-types relativement élevés enregistrés pour plusieurs paramètres traduisent une forte hétérogénéité spatiale de la contamination microbiologique entre les différents points d'eau étudiés. En effet, certains points d'eau présentaient des concentrations faibles ou nulles, tandis que d'autres affichaient des concentrations nettement plus élevées, entraînant une importante dispersion des données. Cette variabilité pourrait être liée aux différences de protection sanitaire des ouvrages, aux conditions environnementales locales ainsi qu'aux diverses sources potentielles de contamination anthropique. Par ailleurs, l'interprétation des résultats statistiques doit être réalisée avec prudence en raison du nombre relativement limité d'échantillons analysés.

Discussion

Les résultats des analyses bactériologiques des eaux de puits et de forages destinées à la consommation humaine dans la commune Makiso à Kisangani ont montré une absence totale d'*Escherichia coli* dans l'ensemble des trente (30) échantillons analysés. Ce résultat demeure encourageant dans la mesure où *E. coli* constitue l'indicateur de référence d'une contamination

fécale récente selon les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2017). Sa présence dans une eau destinée à la consommation traduit généralement un risque immédiat de maladies diarrhéiques. Toutefois, la détection des coliformes fécaux dans 60 % des puits et 33,34 % des forages indique une exposition des eaux à des matières fécales. Cette dissociation entre l'absence d'*E. coli* et la présence de coliformes fécaux a également été rapportée dans d'autres contextes où la contamination pourrait être ancienne, intermittente ou potentiellement d'origine animale (Barthe et al., 1998 ; OMS, 2000). Dans le contexte de Makiso, cette situation pourrait s'expliquer par une survie différentielle des microorganismes dans l'environnement, par l'infiltration progressive des bactéries dans le sol ou encore par des sources diffuses de contamination non humaine.

La détection de bactéries du groupe *Salmonella spp.* constitue un résultat nécessitant une attention particulière dans cette étude. Ces bactéries pathogènes, responsables notamment des fièvres typhoïdes et des salmonelloses, représentent un risque sanitaire important même lorsqu'elles sont présentes à de faibles concentrations (Hounsounou et al., 2018 ; OMS, 2005). Les taux de détection observés, soit 26,7 % dans les puits et 6,67 % dans les forages, traduisent une contamination microbiologique potentiellement liée aux conditions environnementales locales. Leur présence intermittente dans certains points d'eau, notamment à Motumbé, pourrait être favorisée par les épisodes pluvieux et le ruissellement des eaux de surface. Plusieurs études réalisées en Afrique subsaharienne ont montré que les fortes précipitations favorisent le lessivage des contaminants microbiologiques vers les nappes phréatiques superficielles (Kapembo et al., 2023). Dans la commune Makiso, cette dynamique pourrait être accentuée par la proximité des latrines, la faible distance séparant certains ouvrages des sources potentielles de contamination ainsi que l'insuffisance des dispositifs de protection sanitaire.

Contrairement aux attentes généralement admises, les analyses statistiques réalisées n'ont révélé aucune différence significative entre les eaux de puits et de forages pour l'ensemble des paramètres microbiologiques étudiés ($p > 0,05$). Ce résultat rejoint les observations rapportées par Soncy et al. (2015) à Lomé (Togo), qui n'avaient également pas observé de supériorité microbiologique systématique des forages peu profonds par rapport aux puits traditionnels. Toutefois, l'interprétation de ces résultats statistiques doit être réalisée avec prudence en raison du nombre relativement limité d'échantillons analysés et de la forte variabilité observée entre les différents points d'eau.

Cette absence de différence significative pourrait être liée à plusieurs facteurs environnementaux communs aux deux types d'ouvrages. D'une part, huit points d'eau sur dix étaient situés à moins de 30 mètres d'une latrine, soit une distance inférieure aux recommandations généralement proposées par

l'OMS pour limiter les risques de contamination dans les zones à sols perméables (OMS, 2007). Le forage de CUKIS, localisé à environ 6 mètres d'une latrine, illustre particulièrement cette vulnérabilité environnementale. D'autre part, l'absence de dispositifs de protection physique sur certains ouvrages pourrait favoriser les infiltrations de contaminants, notamment lors des épisodes de ruissellement. Par ailleurs, le mode d'exhaure pourrait également influencer le niveau de contamination observé. Les puits utilisant des seaux demeurent potentiellement plus exposés aux contaminations lors du puisage que les forages équipés de pompes.

Ces observations suggèrent que la qualité microbiologique des eaux dépend moins du type d'ouvrage (puits ou forage) que des conditions environnementales immédiates, de l'entretien des installations et des mesures de protection sanitaire mises en place. Comme l'ont également souligné Lamotte et al. (2003) ainsi que Wikiwater (2025), l'amélioration de la qualité microbiologique des eaux passe davantage par des mesures simples de protection sanitaire, notamment l'installation de couvercles, la mise en place de clôtures adéquates et l'éloignement des latrines, que par le seul recours à des technologies de captage plus sophistiquées.

Les concentrations en germes totaux observées dans les différents points d'eau demeuraient systématiquement élevées, dépassant fréquemment 7 000 UFC/100 ml. Bien que ce paramètre soit principalement considéré comme un indicateur général de qualité microbiologique et non directement comme un indicateur pathogène selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2017), ces concentrations élevées traduisent probablement une forte présence de matières organiques et des conditions favorables au développement microbien. Les écarts-types relativement élevés observés pour plusieurs paramètres microbiologiques traduisent également une forte hétérogénéité de la contamination entre les différents points d'eau étudiés. En effet, certains points d'eau présentaient des concentrations faibles ou nulles, tandis que d'autres affichaient des concentrations nettement plus élevées, entraînant une importante dispersion des données. Cette variabilité pourrait être liée aux différences de protection sanitaire des ouvrages, aux conditions environnementales locales ainsi qu'aux diverses sources potentielles de contamination anthropique.

Les résultats obtenus présentent plusieurs implications pratiques importantes pour la commune Makiso. D'abord, ils montrent que la simple construction de nouveaux forages sans mesures complémentaires de protection sanitaire ne permettrait pas, à elle seule, de résoudre durablement les problèmes de qualité microbiologique des eaux. Ensuite, certains ouvrages apparaissent prioritaires pour des interventions sanitaires, notamment les points d'eau localisés à proximité immédiate des latrines (Forage de CUKIS, Puits de l'Avenue Kiwele et le Puits de l'Avenue 3ème Cabine) ou ceux

présentant un environnement peu entretenu. Enfin, la détection intermittente de *Salmonella spp.* plaide en faveur d'un traitement systématique de l'eau avant consommation, notamment par ébullition ou désinfection, particulièrement durant les périodes de fortes pluies.

Conclusion et suggestions

La présente étude a permis d'évaluer la qualité des eaux de puits et de forages utilisées pour la consommation humaine dans la commune Makiso à Kisangani durant la saison pluvieuse. Les résultats obtenus montrent une contamination importante de plusieurs points d'eau étudiés. Bien qu'*Escherichia coli* et les streptocoques fécaux n'aient pas été détectés dans les échantillons analysés, les fortes concentrations observées en coliformes totaux, coliformes fécaux et germes totaux, ainsi que la présence intermittente de *Salmonella spp.*, traduisent une dégradation préoccupante de la qualité sanitaire des eaux.

Les analyses statistiques n'ont pas révélé de différence significative entre les eaux de puits et de forages ($p > 0,05$). Cette situation suggère que les facteurs environnementaux, notamment la proximité des latrines, les conditions d'hygiène autour des ouvrages et l'insuffisance des dispositifs de protection, influencent davantage la qualité des eaux que le type d'ouvrage lui-même.

La forte variabilité observée entre les différents points d'eau met également en évidence l'importance des conditions locales propres à chaque site. Certains ouvrages apparaissent particulièrement vulnérables aux contaminations, surtout durant les périodes pluvieuses favorisant le ruissellement et l'infiltration des contaminants vers les nappes superficielles.

Ces résultats suggèrent la nécessité de renforcer les mesures de protection sanitaire autour des ouvrages hydrauliques, afin d'améliorer la qualité des eaux souterraines dans la commune Makiso. Il apparaît notamment nécessaire de renforcer la protection physique des ouvrages par l'installation de couvercles adaptés, l'amélioration de l'assainissement autour des points d'eau ainsi que le respect des distances minimales entre les latrines et les ouvrages hydrauliques, conformément aux recommandations de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS, 2017).

Par ailleurs, un suivi régulier des points d'eau ainsi que des actions de sensibilisation des populations sur les bonnes pratiques d'hygiène et de traitement domestique de l'eau demeurent indispensables pour réduire les risques sanitaires liés à la consommation de ces eaux. Enfin, des études complémentaires intégrant d'autres paramètres environnementaux et microbiologiques permettraient d'approfondir la compréhension des mécanismes de contamination des eaux souterraines dans ce contexte urbain tropical.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Ces travaux ont été soutenus par le programme de mobilité académique INTERACT-Africa, cofinance par l'Union européenne dans le cadre du projet « Mobilité dans les technologies vertes innovantes pour l'atténuation du changement climatique et la bio-économie durable » (Projet INTERACT-Africa-101144299).

References:

1. Action contre la Faim (ACF). (2009). *Évaluation eau, assainissement et hygiène à Kisangani*. <https://reliefweb.int/report/democratic-republic-congo/évaluation-eau-assainissement-et-hygiène-ville-de-kisangani>
2. Barthe, C., Perron, J., & Perron, J. M. R. (1998). *Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable* (Version préliminaire). Ministère de l'Environnement du Québec. 155 p. + annexes.
3. Carbonnelle, F. Denis, A. Marmonier, G. Pinon and R. Vargues. (1987). *Bactériologie médicale : techniques usuelles*.
4. Delarras, C. (2007). *Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyses ou de contrôle sanitaire*. Paris : TEC & DOC Lavoisier.
5. Hounsounou, E. O., et al. (2018). *Contamination des eaux de puits par les Salmonelles*. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n6p252>
6. International Organization for Standardization. (1988). ISO 8199: *Water quality - Enumeration of microorganisms*.
7. Kapembo, M., et al. (2023). *Qualité des eaux souterraines à Kinshasa*. <https://www.doi.org/10.59189/crsh102240>
8. Lamotte, C., & Bonhomme, B. (2003). *Contrôle et fermeture des puits et forages*. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-52353-FR.pdf>
9. Nathan, I., Wafi, W. F., & Alain, B. E. (2025). *Caractérisation physico-chimique des eaux souterraines non aménagées à Kisangani*. *Journal of Advance Research in Food, Agriculture and Environment Science*, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.61841/58p8yj46>
10. Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2000). *Directives de qualité pour l'eau de boisson : Volume 2 – Critères d'hygiène et documentation à l'appui* (2e éd.).
11. Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2005). *Guidelines for the control of shigellosis, including epidemics due to Shigella dysenteriae type 1*. <https://www.who.int/fr/publications/i/item/9241592330>

12. Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2017). *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed.). World Health Organization.
13. Organisation mondiale de la Santé (OMS). (2023). *Eau potable*. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
14. Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., et al. (2009). *L'analyse de l'eau* (9^e éd.). Paris : Dunod.
15. Singa, N. I., Mendo, F. W., Kasongo, E., Tshinkobo, K., Baswengola, M., & Malumba, Z. K. (2019). Analyse physico-chimique et microbiologique des eaux de la rivière Lindi et son impact à Kisangani. *IJRDO Journal of Applied Science*, 5(2), 63–80. <https://doi.org/10.53555/as.v5i2.2680>
16. Solidarités International. (2025). *Journée mondiale de l'eau*. Consulté le 16 décembre 2025 sur <https://www.solidarites.org/fr/presse/journee-mondiale-de-leau-26-millions-de-personnes-meurent-annee-maladies-liees-a-leau-insalubre/>
17. Soncy, K., et al. (2015). Évaluation de la qualité bactériologique des eaux à Lomé. <https://dx.doi.org/10.4314/jab.v9i11.6>
18. Tchoumou, M., Louzayadio Mvouezolo, R. F., Malera Kombo, M. A., Moussoki Nsona, P., & Ouamba, J.-M. (2024). Evaluation de la Qualité Physico-Chimique et Microbiologique des eaux de Puits Consommées dans le Quartier Kombé à Brazzaville. *European Scientific Journal*, ESJ, 20(12), 82. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n12p82>
19. UN-Habitat. (2026). *Rapport ville de Kisangani*. Consulté le 18 avril 2026 sur <https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-file/RAPPORT%20%20VILLE%20KISANGANI.pdf>
20. UNICEF. (2022). *Rapport sur l'eau, l'assainissement et l'hygiène en Afrique*. <https://www.unicef.org>
21. Wikiwater. (2025). *Importance et maintenance des puits et forages*. Consulté le 25 décembre 2025 sur <https://wikiwater.fr/>
22. Zeufack, A., & Jha, S. K. (2024). *Water sector challenges in DRC*. World Bank Blogs. <https://blogs.worldbank.org/fr/african/drc-water-sector-taking-stock-challenges-leads-to-new-solutions-afe-0624>