



Evaluation de la qualité microbiologique et physicochimique des eaux des forages du quartier Kemi dans la commune de Lemba à Kinshasa

Hervé Ngangu Buloki^{1*}, André Kanjinga Ngoyi^{1,3}, Theddy Mbuma¹, Norbert Mbokadi¹, Crispin Mulaji^{2,3}, Emmanuel Biey¹, Thierry Tangou^{1,3}

⁽¹⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Sciences et Gestions de l'Environnement. BP 190 Kinshasa XI (RDC). E-mail : hervengangu@unikin.ac.cd

⁽²⁾Université de Kinshasa. Faculté des Sciences et Technologies. Mention Chimies et Industries. BP 190 Kinshasa XI (RDC)

⁽³⁾Centre d'Excellence de Chimie, Biologie, Radiologie et Nucléaire de République Démocratique du Congo (CoE-CBRN/RDC). BP 5429 Kinshasa/Gombe (RDC)

Reçu le 03 février 2026, accepté le 15 mars 2026, publié en ligne le 28 mars 2026

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v9i1.12>

RESUME

Description du sujet. A Kinshasa, il s'observe une problématique réelle dans le domaine de la desserte en eau, la population recourt à d'autres moyens comme les eaux souterraines (forages) qui nécessitent une évaluation de la qualité microbiologique et physicochimique.

Objectif. Cette étude vise à évaluer la qualité microbiologique et physicochimique des eaux des forages du quartier Kemi dans la commune de Lemba en vue de prévenir les risques sur la santé des consommateurs.

Méthodes. Les prélèvements des échantillons de l'eau pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont été réalisés dans les bouteilles en plastique d'eaux minérales (1,5 l de capacité). Des échantillons prélevés ont été acheminés au laboratoire du Centre Régional d'Etudes Nucléaires de Kinshasa (CREN-K).

Résultats. Les résultats ont montré que les caractéristiques physico-chimiques de l'eau dans la plupart des cas ne sont pas comprises dans des intervalles proches des normes internationales retenues pour l'eau potable. Les analyses microbiologiques effectuées sur les prélèvements ont révélé une absence totale de germes pathogènes et des germes de contamination fécale.

Conclusion. L'eau de forage du quartier Kemi a une qualité physico-chimique assez bonne et une bonne qualité bactériologique, et est dépourvue de tous les germes pathogènes.

Mots-clés : Evaluation, qualité bactériologique de l'eau, contamination, forage, Kemi/Kinshasa.

ABSTRACT

Evaluation of the microbiological and physicochemical quality of borehole water in the Kemi district of the Lemba township in Kinshasa

Description of the subject. In Kinshasa, there is a real problem with water supply, and the population resorts to other means such as groundwater (boreholes), which require microbiological and physicochemical quality assessment.

Objective. This study aims to assess the microbiological and physicochemical quality of water from boreholes in the Kemi neighborhood of Lemba municipality in order to prevent risks to consumer health.

Methods. Water samples for physical, chemical, and bacteriological analysis were collected in plastic mineral water bottles (1.5 L capacity). The samples collected were sent to the laboratory of the Regional Nuclear Studies Center in Kinshasa (CREN-K).

Results. The results showed that in most cases, the physical and chemical characteristics of the water did not fall within the ranges specified by international standards for drinking water. Microbiological analyses of the samples revealed a total absence of pathogenic bacteria and fecal contamination.

Conclusion: The water from the Kemi neighborhood well has fairly good physical and chemical properties and good bacteriological quality, and is free of all pathogens.

Keywords: Assessment, bacteriological water quality, contamination, drilling, Kemi/Kinshasa.

1. INTRODUCTION

L'accès à une eau potable constitue un déterminant fondamental de la santé publique et un levier essentiel du développement socioéconomique. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé et le Programme commun OMS/Unicef de suivi de l'approvisionnement en eau (JMP, 2023), plus de deux milliards de personnes dans le monde consomment encore une eau contaminée, exposant les populations à des maladies hydriques telles que le choléra, la dysenterie, la fièvre typhoïde et les diarrhées aiguës.

En Afrique subsaharienne, la vulnérabilité des systèmes d'approvisionnement en eau demeure particulièrement préoccupante en raison de la croissance démographique rapide, de l'urbanisation non planifiée et de l'insuffisance des infrastructures d'assainissement (UN-Water, 2021).

Bien que la planète soit recouverte à plus de 70 % d'eau, seulement 2,5 % de cette ressource est douce, et moins de 1 % est directement accessible pour les usages domestiques, agricoles et industriels (Shiklomanov, 1998 ; Gleick, 2003). Les eaux souterraines représentent environ 45 % de l'approvisionnement mondial en eau potable et constituent parfois l'unique source d'eau dans certaines régions africaines, où leur contribution peut dépasser 75 % (ECA, 2000 ; Foster & Chilton, 2003). Elles offrent généralement une meilleure protection naturelle contre les contaminations microbiologiques grâce à la filtration par les formations géologiques. Toutefois, elles restent vulnérables aux pollutions diffuses liées aux activités anthropiques : infiltration des eaux usées domestiques, lixiviation des déchets solides, effluents industriels, pratiques agricoles inadaptées et proximité des latrines (Boubakar, 2010 ; Lapworth *et al.*, 2017).

En République Démocratique du Congo (RDC), l'accès à l'eau potable demeure un défi majeur, particulièrement dans les zones urbaines à forte densité comme Kinshasa. L'insuffisance et l'irrégularité de la desserte par le réseau public (REGIDESO) contraignent une proportion importante de la population à recourir aux forages privés et aux puits traditionnels. Cette dynamique, souvent non encadrée techniquement, soulève d'importantes préoccupations sanitaires, notamment en raison de l'absence systématique de contrôle de qualité (Kazadi, 2012 ; Mpungi, 2016).

La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine est définie par des critères physico-chimiques et microbiologiques stricts. Une eau potable ne doit contenir ni agents pathogènes, ni substances chimiques à des concentrations susceptibles d'entraîner des effets néfastes sur la santé. Les contaminants microbiologiques

(Coliformes fécaux, *Escherichia coli*, Streptocoques fécaux, *Clostridium perfringens*, etc.) constituent des indicateurs majeurs de pollution fécale et de risque infectieux. Par ailleurs, certains paramètres physico-chimiques tels que le pH, la conductivité, les nitrates, les nitrites, les phosphates, le fer ou l'arsenic peuvent altérer la potabilité et présenter des risques toxiques à court ou à long terme (Rodier *et al.*, 2009).

Les nitrates par exemple, sont associés à la méthémoglobinémie infantile lorsque leur concentration dépasse 50 mg/l (Rodier *et al.*, 2009). L'arsenic, même à faible concentration chronique, est reconnu comme cancérigène (IARC, 2012). Un pH acide peut favoriser la corrosion des canalisations et la mobilisation des métaux lourds, tandis qu'une conductivité élevée reflète une forte minéralisation susceptible d'affecter l'acceptabilité organoleptique de l'eau (Pescod, 1985 ; Boubakar, 2010).

Dans la commune de Lemba, et particulièrement dans le quartier Kemi, la prolifération récente de forages privés répond à la demande croissante en eau, mais leur implantation s'effectue souvent sans étude hydrogéologique préalable ni suivi analytique régulier. Dans un contexte urbain marqué par une gestion insuffisante des déchets solides et des excréta, la probabilité d'infiltration de polluants vers les nappes phréatiques superficielles ne peut être exclue. En effet, peu d'études scientifiques documentées ont évalué de manière rigoureuse la qualité microbiologique et physico-chimique des eaux de forage dans cette zone spécifique.

Malgré la dépendance croissante des populations urbaines de Kinshasa aux eaux souterraines, les données intégrant simultanément la caractérisation physico-chimique et l'évaluation quantitative du risque sanitaire demeurent limitées. En particulier, peu d'études ont appliqué une approche normalisée de type Human Health Risk Assessment (HHRA) permettant d'estimer les risques non cancérigènes et cancérigènes liés aux métaux traces en contexte urbain africain. Cette lacune scientifique limite la capacité des décideurs à prioriser les interventions sanitaires.

La présente étude vise généralement à combler ce déficit en combinant l'analyse hydrochimique et l'évaluation quantitative du risque selon les recommandations de l'USEPA (2011). Ainsi, les objectifs poursuivis sont de : (i) Évaluer la qualité physico-chimique des eaux de deux forages du quartier Kemi en comparaison avec les normes internationales de potabilité (OMS) ; (ii) Déterminer la qualité microbiologique des eaux analysées à travers les indicateurs de contamination fécale ; (iii) Apprécier les risques sanitaires

potentiels liés à la consommation de ces eaux ; (iv) Formuler des recommandations en vue d'une meilleure gestion et surveillance des ressources en eau souterraine en milieu urbain.

En fournissant des données analytiques locales fiables, cette recherche contribue à la compréhension de la vulnérabilité des eaux souterraines urbaines à Kinshasa et à l'élaboration de stratégies de gestion intégrée de l'eau alignée sur les Objectifs de Développement Durable, notamment l'ODD 6, relatif à l'accès universel à l'eau potable et à l'assainissement.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Site d'étude

L'étude a été réalisée dans le quartier Kemi, situé dans la commune de Lemba (district du Mont-Amba), ville-province de Kinshasa, République

Démocratique du Congo. La commune couvre une superficie d'environ 23,70 km² et se caractérise par une forte densité démographique, une urbanisation rapide et une couverture partielle du réseau public d'adduction d'eau.

Le climat est de type tropical humide, avec une alternance de saisons sèche et pluvieuse pouvant influencer les processus de recharge des nappes phréatiques et la mobilité des contaminants. Les formations géologiques locales sont dominées par des dépôts sableux et sablo-argileux, susceptibles d'influencer les caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines.

Les coordonnées géographiques des sites de prélèvement ont été relevées in situ à l'aide d'un GPS afin d'assurer la traçabilité spatiale des échantillons (Tableau 1).

Tableau 1. Coordonnées géographiques du site d'étude

Sites de prélèvements	Code	Altitudes en mètres	Latitudes	Longitudes
Forage Malula	(S1)	372	4,996106667	15,312731667
Forage Nfumu saka	(S2)	364	4,401236667	15,316180000

La figure 1 ci-dessous présente la localisation des sites de prélèvement à Kemi.

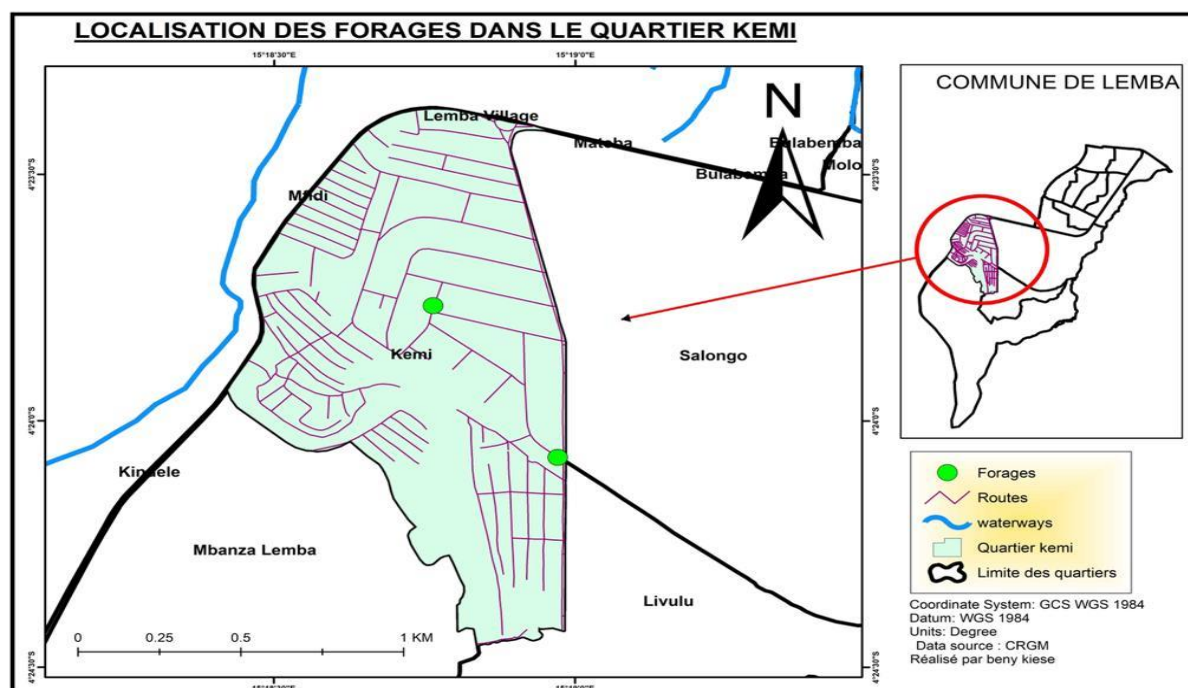


Figure 1. Localisation des sites de prélèvement à Kemi

2.2. Méthodes

L'étude a adopté un design expérimental descriptif à visée analytique, basé sur l'évaluation comparative des paramètres physico-chimiques et microbiologiques des eaux de forage par rapport aux normes internationales de potabilité (WHO, 2017).

L'approche repose sur : (i) des mesures in situ des paramètres physiques, (ii) des analyses chimiques instrumentales en laboratoire, (iii) des analyses microbiologiques normalisées, (iv) une évaluation quantitative du risque sanitaire (HHRA).

2.3. Sélection des forages

Deux forages (S1 : Forage Malula ; S2 : Forage Nfumu Saka) ont été sélectionnés selon les critères suivants : (i) l'accessibilité permanente à la population, (ii) utilisation quotidienne pour la consommation domestique, (iii) l'absence de traitement préalable de l'eau, (iv) la représentativité spatiale dans le quartier.

Le nombre limité de forages analysés constitue une contrainte méthodologique liée aux ressources financières, logistiques et analytiques disponibles. Toutefois, cette étude exploratoire vise à produire des données préliminaires scientifiquement robustes dans un contexte de ressources limitées, fréquent dans les environnements urbains d'Afrique subsaharienne.

Des études similaires en contexte à faibles ressources ont adopté des tailles d'échantillonnage comparables dans une phase exploratoire (Lapworth *et al.*, 2017). Les résultats obtenus doivent donc être interprétés comme une première évaluation indicative, justifiant des investigations ultérieures à plus grande échelle.

2.4. Procédure d'échantillonnage

Les prélèvements ont été réalisés conformément à la recommandation standard pour l'analyse des eaux souterraines. Des bouteilles en polyéthylène de 1,5 l ont été : (i) Lavées à l'eau du robinet, (ii) Rincées à l'eau distillée, (iii) Rincées trois fois avec l'eau du forage avant prélèvement.

Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques et microbiologiques ont été collectés séparément afin d'éviter toute contamination croisée. Après prélèvement, les échantillons ont été : (i) étiquetés (date, site et heure), conservés dans une glacière à 4 °C, (ii) transportés au laboratoire dans un délai inférieur de six heures.

2.5. Analyse physico-chimique

Mesures in situ

Les paramètres mesurés sur le terrain à l'aide d'un multiparamètre WTW 340i calibré quotidiennement sont les suivants : (i) la température, (ii) le pH, (iii) la conductivité électrique, (iv) l'oxygène dissous. La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre étalonné selon les standards du fabricant.

Caractérisation chimique

Les analyses chimiques ont été réalisées au laboratoire du CREN-K.

Spectrophotométrie

Les concentrations en NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , NH_4^+ , SO_4^{2-} et Mg^{2+} ont été déterminées à l'aide d'un spectrophotomètre UV HACH DR/2400 selon les méthodes colorimétriques HACH basées sur la loi

de Beer-Lambert. L'incertitude analytique relative était inférieure à 10 %.

Fluorescence X à dispersion d'énergie (ED-XRF)

Les éléments traces (Fe, As, Cl⁻, etc.) ont été quantifiés à l'aide d'un spectromètre ED-XRF XEPOS III.

Les analyses ont été réalisées : (i) avec étalonnage externe, (ii) en utilisant un standard synthétique, (iii) avec normalisation des intensités par rapport aux pics de diffusion cohérente et incohérente. Les résultats sont exprimés avec un intervalle de confiance de 95 % (t-Student).

2.6. Analyse microbiologique

Les analyses microbiologiques ont porté sur les : (i) Germes totaux, (ii) Coliformes totaux, (iii) Coliformes fécaux, (iv) Streptocoques fécaux.

La stérilisation du matériel a été réalisée à 180 °C pendant 20 minutes (four Pasteur) pour la verrerie, et à 121 °C sous 2 bars pendant 15 minutes (autoclave) pour les milieux et accessoires.

Les méthodes de culture et de dénombrement ont été effectuées selon les protocoles standards de microbiologie des eaux potables, avec incubation à 37 °C (ISO 6222, 1988 ; ISO 9308-1, 2014).

2.7. Assurance qualité et contrôle qualité (AQ/CQ)

Afin d'assurer la fiabilité des données : (i) Les appareils ont été calibrés quotidiennement, (ii) Des blancs analytiques ont été utilisés, (iii) Les analyses ont été réalisées en double lorsque possible, (iv) Les incertitudes instrumentales ont été prises en compte.

2.8. Évaluation des risques pour la santé humaine (HHRA)

L'évaluation du risque sanitaire a été effectuée selon la méthodologie USEPA (2011).

Apport quotidien chronique (CDI)

$$\text{CDI} = \frac{\text{CxIRxExED}}{\text{BWxAT}} \quad (1)$$

Les paramètres standards utilisés sont : (i) IR = 2 L/jour, (ii) BW = 70 kg, (iii) ED = 30 ans, (iv) EF = 365 jours/an

Quotient de risque (HQ)

$$\text{HQ} = \frac{\text{CDI}}{\text{RfD}} \quad (2)$$

Risque de cancer (CR)

$$\text{CR} = \text{CDI} \times \text{SF} \quad (3)$$

Les valeurs de RfD et SF ont été extraites des bases de données USEPA.

2.9. Analyse statistique

Les données ont été analysées à l'aide d'une approche descriptive (moyennes, écarts relatifs aux

normes OMS). En raison du nombre limité d'échantillons, les analyses inférentielles ont été interprétées avec prudence. Les dépassements ont

été exprimés en pourcentage d'écart relatif par rapport aux valeurs guides internationales.

3. RESULTATS

3.1. Résultats des caractéristiques physico-chimiques de l'eau analysée

Afin d'évaluer le degré de potabilité des eaux des forages situés dans le quartier Kemi, les résultats de cette étude ont été comparés avec les normes de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) qui ont défini la concentration maximale admissible et la quantité maximale de substances tolérées. Les résultats des différents puits d'eau (S1 et S2) sont représentés sous forme de tableaux.

Tableau 2. Paramètres physico-chimiques

Sites	Oxygène dissous (mg/l)	Température (°C)	Conductivité ($\mu\text{S/cm}$)	pH	Turbidité (NTU)
Norme WHO	6,00 à 9,00	26,80 à 27,40	125,00	6,50 à 8,50	0,00 à 5,00
S1	2,79	28,20	322,00	4,97	2,12
S2	3,47	28,20	463,00	5,12	4,75

Les résultats du tableau 2 montrent que les eaux des forages étudiés présentent un pH légèrement acide, proche de la neutralité, ce qui traduit un environnement hydrochimique influencé par les caractéristiques lithologiques locales et les processus de recharge. En contexte tropical humide comme celui de Kinshasa, l'infiltration d'eaux de pluie légèrement acides, enrichies en CO_2 issu de la respiration microbienne des sols, favorise la formation d'acide carbonique et peut abaisser le pH des eaux souterraines peu profondes.

Les valeurs relativement faibles d'oxygène dissous suggèrent des conditions partiellement réductrices, probablement liées à la dégradation de matière organique infiltrée depuis les systèmes d'assainissement domestique (latrines et fosses septiques). Ce contexte redox peut influencer la mobilité de certains éléments traces, notamment l'arsenic et le fer, dont la solubilité augmente en conditions réductrices.

La conductivité électrique observée reflète une minéralisation modérée de l'eau, compatible avec un temps de résidence relativement court et une interaction limitée eau-roche. Toutefois, des apports anthropiques diffus (rejets domestiques et infiltration d'eaux usées) pourraient également contribuer à l'augmentation de la charge ionique.

Les concentrations en nitrates, lorsqu'elles sont élevées, traduisent généralement une influence anthropique marquée, notamment l'infiltration d'effluents domestiques ou de déchets organiques. Dans un environnement urbain densément peuplé et caractérisé par l'absence d'un réseau d'assainissement structuré comme Kemi, cette contamination diffuse constitue une explication plausible des niveaux mesurés.

Globalement, la signature physico-chimique observée suggère une interaction combinée entre facteurs naturels (géologie locale et recharge météorique) et pressions anthropiques liées à l'urbanisation non planifiée.

Tableau 3. Teneur en nitrite et nitrate

Sites	Nitrites (mg/l)	Nitrate (mg/l)
Norme WHO	3	50
S1	0,0015	1,864
S2	0,01276	51,65

Les concentrations des nitrites et nitrates dans le Tableau 3 révèlent une signature hydrochimique influencée à la fois par des processus naturels et des apports anthropiques.

Les niveaux mesurés en nitrates constituent un indicateur pertinent de pression anthropique. En milieu urbain non raccordé à un réseau

d'assainissement collectif, les nitrates proviennent généralement de l'infiltration d'effluents domestiques, de fosses septiques non étanches et de déchets organiques. La mobilité élevée des nitrates dans les aquifères peu profonds explique leur persistance dans les eaux souterraines et leur utilisation comme traceur de contamination diffuse.

Tableau 4. Teneur en phosphate, magnésium, Fer, Arsenic et Chlorure

Sites	Phosphate (mg/l)	Magnésium (mg/l)	Fer (mg/l)	Arsenic (mg/l)	Chlorure (mg/l)
Norme	0,01	30 à 50	0,3 à 5	0,01	< 250
S1	0,03	4,275	0,0073	0,000015	0,471
S2	1,87	5,710	1,24	0,00123	6,04

Le tableau 4 présente les concentrations mesurées de divers éléments chimiques dans les eaux des sites S1 et S2, comparées aux normes internationales. Les phosphates dépassent la norme (0,01 mg/l), avec des valeurs de 0,03 mg/l à S1 et 1,87 mg/l à S2, indiquant une présence notable. Le magnésium est inférieur à la fourchette recommandée (30–50 mg/l), avec 4,275 mg/l à S1 et 5,710 mg/l à S2, suggérant un apport minéral faible. Les concentrations de fer restent dans les limites de la norme (0,3–5 mg/l), tandis que l'arsenic, bien que présent à de faibles concentrations (0,000015 mg/l à S1 et 0,00123 mg/l à S2), peut poser un risque sanitaire en cas d'exposition chronique. Les chlorures sont largement inférieurs à la limite de 250 mg/l.

Les concentrations observées en arsenic peuvent s'expliquer par des mécanismes géogéniques, notamment la dissolution de minéraux porteurs (arsénopyrite, oxydes de fer) sous conditions réductrices. La baisse de l'oxygène dissous observée dans les forages (tableau 1) favorise la réduction des oxydes de fer et la libération concomitante d'arsenic adsorbé, augmentant ainsi sa concentration dans l'eau souterraine. Ce mécanisme est bien documenté dans les aquifères tropicaux soumis à une recharge organique importante.

3.2. Résultats des analyses bactériologiques

Les résultats des analyses bactériologiques sont présentés au tableau 5.

Tableau 5. Résultats des analyses bactériologiques

Bactéries	S1	S2	Normes WHO (2017)
Germes totaux	0	8	0 UFC/100 ml à 37 °C
Coliformes totaux	0	1	
Coliformes fécaux	0	0	
Streptocoques fécaux	0	0	

Le tableau 5 présente les analyses microbiologiques des eaux des sites S1 et S2 comparées aux normes de l'OMS (0 UFC/100 ml à 37 °C pour les germes totaux). À S1, toutes les bactéries mesurées restent conformes aux normes, indiquant une eau sans risque microbiologique significatif. À S2, les germes totaux atteignent 8 UFC/100 ml, dépassant la norme et signalant un risque potentiel pour les consommateurs, bien que les coliformes fécaux et streptocoques fécaux soient absents, confirmant

Lorsque les concentrations en fer ou manganèse sont élevées, elles peuvent également refléter des conditions redox réductrices favorisant leur mise en solution. Ces paramètres constituent ainsi des indicateurs indirects de la dynamique géochimique du système aquifère.

L'évaluation quantitative d'impact potentiel sur la santé montre un HQ > 1 pour l'arsenic, indiquant un risque non cancérigène potentiel en cas d'ingestion prolongée. Bien que les concentrations paraissent modérées, l'ingestion chronique peut entraîner une accumulation progressive et provoquer des effets systémiques à long terme, notamment cutanés, cardiovasculaires et neurologiques. Le CR estimé dépasse l'intervalle de tolérance (10^{-6} - 10^{-4}), suggérant que l'exposition chronique pourrait augmenter la probabilité de cancers liés à l'arsenic inorganique.

Ces résultats reposent sur des paramètres standards d'exposition (poids corporel et volume d'eau ingéré). Les populations vulnérables, en particulier les enfants, peuvent présenter un risque proportionnellement plus élevé. Dans le contexte urbain de Kinshasa (quartier Kemi), où l'eau de forage est souvent la principale source domestique, ces observations soulignent l'importance d'une surveillance régulière et de la mise en place de mesures correctives pour limiter l'exposition.

l'absence de pollution fécale directe. La présence de coliformes totaux (1 UFC/100 ml) peut avoir une origine environnementale et n'indique pas nécessairement une contamination sanitaire. Ces résultats soulignent l'importance de mesures correctives pour garantir la qualité microbiologique de l'eau, notamment dans un contexte de desserte limitée par la REGIDESO.

4. DISCUSSION

La présente étude vise à évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de forage du quartier Kemi (Lemba, Kinshasa) en les comparant aux normes internationales de potabilité établies par l'organisation mondiale de la santé (WHO, 2017). Les résultats obtenus révèlent une situation contrastée, marquée par une bonne qualité microbiologique globale mais par certaines anomalies physico-chimiques susceptibles d'affecter la potabilité et la durabilité des infrastructures.

4.1. Paramètres physico-chimiques

Température et oxygène dissous

Les températures mesurées ($\sim 28^\circ\text{C}$) sont légèrement supérieures à celles recommandées pour une eau potable optimale (WHO, 2017). Dans les zones tropicales, de telles températures sont toutefois cohérentes avec les conditions climatiques locales et influencent la solubilité de l'oxygène dissous comme l'ont décrit Leynaud (1968) et Wetzel (2001). Les faibles concentrations en oxygène dissous ($< 5\text{ mg/l}$) observées s'expliquent probablement par la nature confinée des aquifères souterrains, ce qui n'est pas nécessairement un indicateur de pollution mais pourrait favoriser la mobilité de certains éléments comme le fer et le manganèse (Appelo & Postma, 2005).

Conductivité électrique

Les valeurs de conductivité (322 et 463 $\mu\text{S/cm}$) indiquent une minéralisation modérée à relativement élevée. Bien que l'OMS ne fixe pas de limite sanitaire stricte pour la conductivité, des valeurs élevées témoignent souvent de processus d'interactions eau-roche et d'apports anthropiques diffus, comme observé dans d'autres bassins urbains étudiés (Mutileni & Edokpayi, 2023).

pH

Les valeurs de pH (4,9–5,1) sont nettement inférieures à l'intervalle recommandé par l'OMS (6,5–8,5) et constituent un résultat préoccupant. Un pH acide peut favoriser la corrosion des canalisations et la mobilisation de métaux lourds, augmentant indirectement les risques sanitaires (Appelo & Postma, 2005). Des pH acides similaires ont été signalés dans des études récentes en Afrique, soulignant une tendance régionale de conditions souterraines acides dans les zones urbaines (Mutileni & Edokpayi, 2023).

Nitrates et nitrites

Les nitrites sont très faibles et conformes aux normes OMS ($\leq 3\text{ mg/l}$), indiquant une absence de pollution azotée récente. En revanche, la

concentration en nitrates à S2 (51,65 mg/l) dépasse légèrement la limite recommandée de 50 mg/l. Cette situation reflète probablement des infiltrations d'eaux usées ou des ruissellements chargés en matières azotées, un phénomène courant dans les nappes urbaines étudiées récemment en Afrique (Tifang Amboh *et al.*, 2025). Une exposition chronique à des nitrates élevés peut provoquer la méthémoglobinémie chez les nourrissons (OMS, 2017).

Phosphates

Les concentrations élevées en phosphates, surtout au site S2, dépassent largement la valeur indicative de 0,01 mg/l. Bien que non directement toxiques à ces niveaux, elles reflètent une influence anthropique probable (eaux ménagères et détergents), en accord avec des observations d'autres études urbaines en contexte similaire (Tifang Amboh *et al.*, 2025).

Métaux (Fer et Arsenic)

La concentration en fer au site S2 est acceptable mais peut altérer des propriétés organoleptiques. Concernant l'arsenic, la valeur légèrement supérieure à la valeur guide de 0,01 mg/l est préoccupante car l'arsenic est classé cancérigène avéré pour l'homme (IARC, 2012). Des études récentes ont documenté que des concentrations d'arsenic dépassant les guidelines de l'OMS dans les eaux souterraines sont associées à des risques sanitaires significatifs (Thakur *et al.*, 2024; Zahra *et al.*, 2025).

4.2. Qualité microbiologique

L'absence de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux suggère l'absence de contamination fécale récente, probablement liée à la profondeur des forages et à l'éloignement des sources de pollution comme les latrines. Ces résultats s'accordent avec les mécanismes protecteurs des aquifères profonds documentés par Foster & Chilton (2003). Toutefois, la présence de germes totaux à S2 (8 UFC/100 ml) signale une activité microbienne environnementale, non pathogène mais indicative de conditions favorisant la croissance microbienne, comme observé dans d'autres contextes urbains d'Afrique subsaharienne (Mutileni & Edokpayi, 2023).

4.3. Évaluation quantitative du risque sanitaire

L'analyse HHRA réalisée selon la méthodologie USEPA montre que pour l'arsenic au site S2, le Hazard Quotient (HQ) > 1 , indiquant un risque non cancérigène potentiel en cas d'exposition prolongée (USEPA, 2011). Ceci est cohérent avec des résultats récents qui démontrent que des concentrations d'arsenic légèrement supérieures aux guidelines peuvent encore représenter des risques significatifs lorsqu'on considère l'exposition chronique (Thakur *et al.*, 2024; Zahra

et al., 2025). Le risque cancérigène estimé ($CR = 5,26 \times 10^{-4}$) dépasse les seuils d'acceptabilité (10^{-6} – 10^{-4}), soulignant un risque cancérigène potentiel à long terme.

Pour les nitrates, le HQ estimé est inférieur à 1 mais reste préoccupant pour les nourrissons, population particulièrement vulnérable à la méthémoglobinémie, un constat similaire à ceux rapportés dans des évaluations de risques de nitrates dans d'autres aquifères ruraux et urbains (Aryan *et al.*, 2024).

4.4. Implications sanitaires et environnementales

Globalement, bien que la qualité microbiologique des eaux étudiées soit satisfaisante, les anomalies physico-chimiques notamment un pH acide et des concentrations légèrement élevées de nitrates et d'arsenic soulignent la nécessité d'un suivi périodique rigoureux, d'un encadrement réglementaire des forages privés et d'une meilleure gestion de l'assainissement urbain, comme l'ont recommandé plusieurs études récentes sur la pollution des eaux souterraines en contexte africain (Mutleni & Edokpayi, 2023; Tifang Amboh *et al.*, 2025).

5. CONCLUSION ET SUGGESTIONS

Cette étude a évalué la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de forage utilisées à des fins domestiques dans le quartier Kemi (commune de Lemba à Kinshasa) et a estimé les risques sanitaires liés à leur consommation chronique. Les résultats indiquent une qualité microbiologique globalement conforme aux recommandations internationales. Toutefois, plusieurs paramètres chimiques soulèvent des préoccupations. Le pH acide observé dans les deux forages suggère des conditions géochimiques favorisant la mobilité des éléments traces. La concentration en nitrates dépasse légèrement la valeur guide de l'OMS dans l'un des sites, probablement en lien avec les insuffisances du système d'assainissement urbain. Plus préoccupant encore, la concentration en arsenic excède le seuil recommandé.

L'évaluation quantitative du risque sanitaire (HHRA) révèle un quotient de danger (HQ) supérieur à 1 pour l'arsenic ainsi qu'un risque cancérigène dépassant les limites généralement admises pour les expositions environnementales chroniques. Ces résultats soulignent la nécessité d'intégrer des approches quantitatives de gestion du risque dans la surveillance des eaux souterraines en contexte urbain africain.

Cette étude constitue une investigation exploratoire réalisée dans un contexte de ressources financières et logistiques limitées. Le nombre restreint de forages analysés, bien que représentatifs des

sources les plus utilisées localement, limite la généralisation statistique des résultats. Par ailleurs, les prélèvements ont été effectués sur une seule période, ne permettant pas d'évaluer les variations saisonnières susceptibles d'influencer la qualité des eaux souterraines.

Les recherches futures devraient : (i) Étendre l'échantillonnage à un plus grand nombre de forages ; (ii) Intégrer une approche saisonnière (saison sèche et saison des pluies) ; (iii) Appliquer des analyses statistiques multivariées (ACP, classification hiérarchique) ; (iv) Développer une cartographie SIG des risques ; (v) Examiner d'autres voies d'exposition (contact dermique, chaîne alimentaire, etc.). Ces approches permettraient une meilleure compréhension des mécanismes de contamination et un renforcement de la robustesse scientifique des conclusions.

Au regard des résultats obtenus, les actions suivantes sont recommandées : (i) Mise en place d'un suivi régulier des paramètres physico-chimiques, en particulier de l'arsenic et des nitrates ; (ii) Renforcement de la sensibilisation communautaire sur les risques chimiques chroniques associés à la consommation d'eau non traitée ; (iii) Promotion de solutions de traitement adaptées et à faible coût, notamment des systèmes d'adsorption pour l'élimination de l'arsenic ; (iv) Amélioration des infrastructures d'assainissement urbain afin de limiter l'infiltration des polluants azotés vers les nappes phréatiques, (v) Intégration de l'évaluation quantitative du risque sanitaire dans les politiques locales de gestion des ressources en eau.

La mise en œuvre de ces mesures contribuerait à la sécurisation durable des ressources en eau souterraine et à la protection de la santé publique dans un contexte urbain en forte expansion.

Références

- Appelo C. A. J. & Postma D., 2005. *Geochemistry, groundwater and pollution* (2nd ed.). CRC Press, 649 p.
- Aryan Y., Pon T., Panneerselvam B. & Dikshit A. K., 2024. A comprehensive review of human health risks of arsenic and fluoride contamination of groundwater in South Asia. *Journal of Water and Health*, 22(2), 235–267. <https://doi.org/10.2166/wh.2023.082>
- Boubakar H. A., 2010. *Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : Cas de la communauté urbaine de Niamey (Niger)*. Doctoral dissertation, Université Abdou Moumouni, Faculté de Sciences et Techniques, 204 p.
- European Commission for Africa (ECA), 2000. *Africa water vision for 2025: Equitable and sustainable use of water for socioeconomic development*. United Nations, 28 p.
- Foster S. & Chilton J., 2003. Groundwater: The processes and global significance of aquifer degradation.

- Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 358(1440), 1957–1972. <https://doi.org/10.1098/rstb.2003.1380>
- Gleick P. H., 2003. Global freshwater resources: Soft-path solutions for the 21st century. *Science*, 302(5650), 1524–1528. <https://doi.org/10.1126/science.1089967>
- International Agency for Research on Cancer (IARC), 2012. *Arsenic, metals, fibres and dusts*. IARC Monographs Vol. 100C. World Health Organization, 501p.
- ISO 6222., 1988. *Dénombrement des micro-organismes*.
- ISO 9308-1., 2014. *Qualité de l'eau – Dénombrement des Escherichia coli et des bactéries coliformes – Partie 1: method par filtration sur membrane pour les eaux à faible teneur en bactéries*.
- Joint Monitoring Programme (JMP), 2023. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022*. WHO & UNICEF, 156 p. <https://washdata.org>
- Kazadi M., 2012. *Contribution à l'étude de la qualité et la gestion de l'eau de boisson dans la région de Kisangani*. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences, Université de Kisangani, 145 p.
- Lapworth D. J., Nkhuwa D. C. W., Okotto-Okotto J., Pedley S., Stuart M. E., Tijani M. N. & Wright J., 2017. Urban groundwater quality in sub-Saharan Africa. *Hydrogeology Journal*, 25(4), 1093–1116. <https://doi.org/10.1007/s10040-016-1516-6>
- Leynaud G., 1968. Les pollutions thermiques. *Bulletin Technique d'Information*, 224, 881–889.
- Mpungi J., 2016. *Évaluation de la qualité globale des eaux de puits du quartier Mbuala*. Mémoire, Université de Kinshasa, Faculté des Sciences et Technologies, 49 p.
- Mutileni N., Mudau M. & Edokpayi J. N., 2023. Water quality, geochemistry and human health risk of groundwater in Limpopo province. *Scientific Reports*, 13, 19071. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46386-4>
- Pescod M. B., 1985. Wastewater treatment and use in agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, No. 47, 125 p.
- Rodier J., Legube B. & Merlet N., 2009. *L'analyse de l'eau*. 9e éd., Dunod, 1526 p.
- Shiklomanov I. A., 1998. *World water resources: A new appraisal and assessment for the 21st century*. UNESCO, 37 p.
- Thakur R., Nath H., Neog N., Bora P. K. & Goswami R., 2024. Groundwater hydrogeochemistry and health risk assessment through exposure to arsenic. *Scientific Reports*, 14, Article 29843. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-81379-x>
- Tifang Amboh J., Tematio P., Mengnjo J. W., Mero, Y., Adoua Kopa N. & Muga Y., 2025. Health risk assessment from nitrate contamination in Bafoussam. *Environmental Challenges*, 21, 101367. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101367>
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2011. *Exposure factors handbook 2011 edition (EPA/600/R-09/052F)*, 1466 p.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2011. *Risk assessment guidance for Superfund (RAGS), Volume I*, 385 p.
- UN-Water, 2021. *SDG 6 summary progress update 2021*. United Nations, 54 p.
- Wetzel R. G., 2001. *Limnology: Lake and river ecosystems* (3rd ed.). Academic Press, 1006 p.
- World Health Organization, 2017. *Guidelines for drinking-water quality* (4th ed., incorporating the 1st addendum). WHO Press, 541 p.
- Zahra A., Ali M., Ali N., Khan A., Zairov R., Sinyashin O., Wang Y., Zafar S. & Khan F.-A., 2025. Impact of arsenic, fluoride, and nitrate dynamics on groundwater quality. *Journal of Hazardous Materials*, 487, 137093. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2025.137093>