

Contrôle de la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau des forages consommée par les étudiants en milieu Universitaire : Cas de l'Université de Lubumbashi

Kalaka Mayur Clovis^{*1}, Tshimanga E.², Mulongo Numbi T²., Lukonzolwa Ngoie M.², Nyundo Kalombo S.⁴, Lukonzolwa Banza M², Katim Mwinampal A.^{2,3}, NKULU Kilumba G.¹, Nkusu Mubembe G.², Minga Shanga p¹, Kanyeba Mwakabubi S.¹, Kabwiz Kalamb C.¹ & Bandibanga Kasumpa D.²

¹Centre de recherche Agro-Alimentaire (CRAA) département Contrôle de qualité, section microbiologique, Lubumbashi/ R.D.Congo

²Centre de recherche Agro-Alimentaire (CRAA), Lubumbashi/ R.D.Congo

³Unité des Recherche en biodiversité et exploitation durable des Zones Humides, Faculté d'agronomie/ UNILU, Lubumbashi/ R.D.Congo

⁴Université de Lubumbashi, Faculté de Sciences, Département de géologie/ Lubumbashi, R.D.Congo

Auteur correspondant : Kalaka Mayur Clovis

N° orcid:0009-0007-3229-9456



Abstract: To control the bacteriological and physicochemical quality of borehole water at the University of Lubumbashi (UNILU) in Lubumbashi, Democratic Republic of Congo, ten samples were collected during the dry season. During the study, sampling campaigns followed by laboratory analyses were conducted during the dry season in August 2025.

A total of thirty-two (32) parameters, including six (6) microbiological and twenty-six (26) physical and chemical, were measured. A careful analysis of the measured parameters revealed the following:

- 50% of the samples were bacteriologically contaminated;

- 100% of the samples met World Health Organization standards based on physicochemical parameters, and 40% of the samples contained heavy metals such as arsenic (As), Lead (Pb), iron (Fe) and manganese (Mn).

Their concentrations were generally higher than WHO standards, confirming the visible vulnerability of the waters studied. According to our investigation, water samples from boreholes: P1, P5, P7, P8 and P9 were the most microbiologically contaminated sources; this contamination was attributed to many factors, such as infiltration of wastewater into the groundwater, the underground aquifer or poorly located latrines, poor sanitary protection of boreholes, lack of maintenance or periodic disinfection of the facilities and samples: P5, P6, P7 and P9 have heavy metals. This situation reflects significant contamination probably linked to the local geological nature and mining activities.

Keywords: Contamination, Bacteriological, Physicochemical, Water, Analysis.

Résumé : Pour contrôler la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau de forage à la cité Universitaire de Lubumbashi (UNILU) à Lubumbashi en République Démocratique du Congo, dix des échantillons ont été prélevés pendant la saison sèche. Au cours de l'étude, les campagnes d'échantillonnage suivies d'analyses en laboratoire ont été menées à pendant la saison sèche au mois d'Aout 2025.

Au total, trente- deux (32) paramètres, dont six (6) microbiologique, Vingt-six (26) physico et chimiques, ont été mesurés. Une analyse minutieuse des paramètres mesurés a révélé que :

- 50% des échantillons étaient bactériologique ment contaminer ;

- 100% des échantillons ont respectés les normes de l'Organisation mondiale de la santé selon les paramètres physico-chimiques et 40% des échantillons renferment les métaux lourds tels que l'arsenic (As), le plomb(Pb), Fer (Fe) et Manganèse (Mn).

Leurs concentrations étaient généralement supérieures aux normes de l'OMS. Confirmant la vulnérabilité visible des eaux étudiées

D'après notre enquête, les échantillons d'eau des forages : P1, P5, P7, P8 et P9 étaient les sources les plus contaminées microbiologiquement ; cette contamination a été attribuée à de nombreux facteurs, tels que l'infiltration des eaux usées dans les nappes l'aquifère souterrain ou latrines mal situées, une mauvaise protection sanitaire des forages un manque d'entretien ou de désinfection périodique des installations et les échantillons : P5, P6, P7 et P9 ont des métaux lourds. Cette situation traduit une contamination significative probablement liée à la nature géologique locale et aux activités minières.

Mots-clés : Contamination, Bactériologique, Physicochimique, Eaux, Analyse.

I. INTRODUCTION

L'eau potable est un élément essentiel à la santé humaine, particulièrement en milieu Universitaire où la concentration d'étudiants augmente les risques de propagation de maladies hydriques. À l'Université de Lubumbashi les résidences estudiantines dépendent principalement des forages et du réseau public d'approvisionnement en eau. Cependant, des préoccupations persistent quant à la qualité de cette eau de forage, notamment en raison de l'insalubrité.

En générale l'eau est un élément indispensable pour la vie et pour le développement socioéconomique réel d'une nation. Cependant, l'urbanisation croissante et incontrôlée, particulièrement dans les pays pauvres et en développement, a un impact négatif sur la qualité et la quantité de cette denrée. (Kalaka M.C.et al, 2024, Aïssata, 2010)

L'eau, denrée vitale sur la terre, et composante de la zone critique terrestre (ZC) est une ressource recyclable. Cependant, elle doit être gérée et protégée en raison de sa vulnérabilité à la surexploitation et à la pollution (Osuolal et Okoh, 2017). La pollution de l'eau dans les pays en voie de développement est souvent due aux activités anthropiques dues à une urbanisation incontrôlable (Youmbi et al, 2013) avec l'absence souvent de traitements adaptés des eaux.

Le rejet direct des eaux usées dans les cours d'eau sans traitement préalable, conduit à une mauvaise qualité des eaux concernant les matières en suspension, ammonium, phosphates, et à une contamination bactériologique (Bou Saab et al. 2007) en coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux (Singh et al. 2013). Bien que la présence des coliformes fécaux indique d'habitude une contamination d'origine fécale, plusieurs coliformes fécaux ne sont pas d'origine fécale, provenant plutôt d'eaux enrichies en matière organique (Barthe et al. 1998; OMS, 2000). Pour cela, le terme générique « coliformes thermo tolérants » est plus approprié (OMS, 1994; Robertson et al, 1995).

Plusieurs études en Afrique subsaharienne (Nonvignon et al, 2022 ; Onique et al, 2023) ont montré que les problèmes de qualité de l'eau en milieu urbain sont souvent liés à :

- La contamination microbiologique (présence d'E. coli, Salmonella, coliformes).
- La pollution physico-chimique (métaux lourds, turbidité, pH inadéquat).
- L'insuffisance des infrastructures (fuites, corrosion des canalisations).

Dans notre contexte, les problèmes sont essentiellement liés à la qualité de l'eau des forages consommés par les étudiants vivants à la cité Universitaire de Lubumbashi. Cette étude a pour objectif d'évaluer la qualité bactériologique et physico-chimique de l'eau forages consommés par les étudiants dans la cité universitaire de l'Université de Lubumbashi, en comparant les résultats aux normes internationales (OMS, 2022).

II. MATERIELS ET METHODES

2.1. Zone d'étude

Notre étude a été effectuée au niveau de cité universitaire de l'Unilu (université de Lubumbashi) donc nous avons prélevé dix(10) échantillons d'eau de forage.

Cette université citée ci-haut est située à la partie Nord de la ville de Lubumbashi en République Démocratique du Congo, à l'Ouest de l'aéroport international de la Luano. Ces coordonnées Géographiques sont approximativement : 11°36' 52'' S (-11.61444) de latitude Sud et 27°28'50''E (27.48056) de longitude et l'altitude à laquelle se trouve le campus est d'environ 1280 mètres (4199 pieds) au-dessus du niveau de la mer.

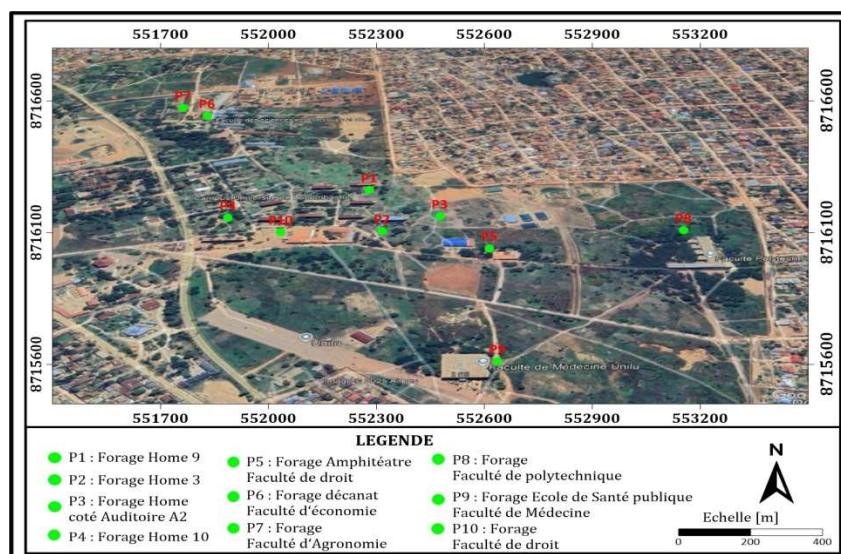


Fig.1. cartographie de la zone d'étude

2.2. Critères de sélection

Nous avons retenu tous les forages d'eau se trouvant à la cité universitaire de Lubumbashi source d'eau de boisson des étudiants vivant au lieu près cité.

a) *Fréquence de prélèvement*

Echantillonnage étaient prélevées pendant un mois donc au mois Aout 2025 et à partir de 6 heures 30 minutes à 8heures 45minutes pendant la saison sèche.

2.3. Sites de prélèvement et coordonner Géographique

Tableau 1. Sites de prélèvement d'eau et coordonner Géographique

Echantillons	Site de prélèvement	Données GPS
P1	Forage Home 9	-11,61269 ; 27,48106
P2	Forage Home 3	-11,61 406 ; 27,48 109
P3	Forage Home 4 à côté de l'Auditoire A2 Ngoie Nsenga	-11,6138 ; 27,48219
P4	Forage Home 10	-11,61368 ; 27,47 892
P5	Forage amphithéâtre faculté de droit	-11,61497 ; 27,48 297
P6	forge décanat faculté d'économie	-11,60887 ; 27,47758
P7	forage faculté d'Agronomie	-11,60832 ; 27,4861487

P8	forage faculté de polytechnique	-11,50 355 ; 27,48 599
P9	forage école de santé publique à côté de la faculté de médecine	-11,61811 ; 27,48293
P10	Faculté de droit	-11,6143, 27,48133

2.4 Matériels d'analyses bactériologiques

Lors de la culture des eaux des forages prélevées à UNILU nous nous sommes servi des matériels suivants : marmite à pression, balance de précision, Lampe à alcool, incubateur, boîte de pétri, Bic marqueur, ouates, Flacons de prélèvement, tubes à essai, éprouvette, Erlenmeyer, Lames porte objet, portoirs, boîte d'allumette, réchaud électrique...

❖ Milieux de Cultures pour la recherche des germes

- Eosin Methyline Blue (EMB) Agar;
- Salmonella et Shigella (SS) Agar ;
- Clostridium Perfringens Agar ;
- Strepto Agar.

❖ Paramètres bactériologiques recherchés

- Coliformes totaux ;
- Coliformes fécaux ;
- Escherichia coli ;
- Streptocoque fécaux ;
- Salmonella et Shigella ;
- Clostridium Perfringens.

2.4. Matériels et méthodes d'analyse physico-chimiques

Les paramètres physiques (pH, conductivité, extrait sec, Chlorure, T.A, T.A.C, M.S) ont été mesurés à l'aide d'un multimètre portatif de type HANNA HI 9828 selon les techniques de Rodier et al. (2009) et la méthode d'AFNOR (1994). Les teneurs en ions majeurs (Ca, Mg, Na, K, SO₄) ont été déterminées respectivement, selon les normes NF T 90-009/012/013/015/923, par la méthode de spectrophotométrie d'absorption atomique et par spectrométrie de fluorescence atomique. Le dosage des métaux lourds est effectué à l'aide d'un spectromètre de masse à source ionisante au plasma d'argon (ICP-MS), selon de Standard Method for the evaluation of Water and Wastewater (CEAEQ, 2011).

III. RESULTATS

Les résultats que nous présentons dans ce paragraphe concernent :

- L'analyse microbiologique ;
- La Composition physicochimique et chimique.

Ces résultats concernent les 10 échantillons répertoriés sur le tableau 1. Des sites de prélèvement et coordonnées géographique des forages d'eau trouvent à l'Université de Lubumbashi.

3.1. Analyses bactériologiques des eaux des forages

Tableau II: Analyse bactériologiques d'eau des forages prélevés à la cité Universitaire de Lubumbashi (UNILU)

Paramètres	Echantillons										Normes selon OMS (2006)
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
Coliformes totaux	3	0	0	0	1	0	2	4	1	0	0 UFC/100ml
Coliformes fécaux	2	0	0	0	0	0	2	2	2	0	0 UFC/ 100ml
Escherichia coli	1	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0 UFC/ 100ml
Salmonella et shigella	2	0	0	0	3	0	0	1	2	0	0 UFC/ 100ml

Streptocoques fécaux	0	0	0	0	0	0	14	0	11	0	0 UFC/ 100ml
Clostridium perfringens	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 UFC/ 100ml

Selon nos analyses représentées dans le tableau II, microbiologiquement l'eau de forage prélevé à la cité universitaire de Lubumbashi dans les échantillons ; P1, P5, P7, P8 et P9 sont impropres à la consommation humaine tandis que P2, P3, P4, P6 et P10 sont propres à la consommation humaine.

3.2. Résultats des analyses physicochimiques d'eau des forages

Tableau III : analyses physico-chimiques de l'eau prélevée dans les forages à la cité Universitaire de Lubumbashi (Campus UNILU)

paramètres	Echantillons										Normes OMS (2022)
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
pH	7,8	6,95	7,79	6,82	6,69	7,9	7,3	7,24	7,14	6,58	6,5 – 9,5
Conductivité	391	403	167	403	422	123	397	323	394	404	1400 (µs/cm)
Chlorures	56	28	42	42	42	28	28	28	28	42	250 (mg/L)
Sulfates	84,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	500 (mg/L)
DT	16	22	6	22	19,2	2	20,4	15,2	22,4	21,2	50 (°F)
Ca	6,8	8,4	2	8,8	11,2	0,8	9,2	10,8	10,8	8	200 (mg/L)
Mg	9,2	13,6	4	13,2	8	1,2	11,2	4,4	11,6	13,2	50(mg/L)
Extrait sec H	320	280	80	180	180	180	220	340	300	240	1000 (mg/L)
T.A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25 (°F)
T.A.C	20	24	10	28	26	4	30	18	24	24	25 (°F)
M.S	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	1000 (mg/L)

Selon les analyses physico-chimiques effectuées, nous avons constatés que tous les échantillons prélevés ont respectés les normes de l'Organisation Mondiale de Santé.

Tableau IV. Composition minérale (mg/L) de l'eau des forages

Paramètres	Echantillons										Normes selon OMS (mg/L), 2021
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	
Ag	0,000	0,004	0,009	0,000	0,058	0,095	0,001	0,000	0,056	0,000	0,1
Al	0,074	0,000	0,000	0,000	0,000	0,115	0,000	0,246	0,002	0,000	0,2
As	0,000	0,000	0,000	0,000	0,255	0,883	0,378	0,000	0,000	0,000	0,01
Be	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,002	0,000	Pas de valeur guide
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003
Co	0,097	0,093	0,098	0,132	0,123	0,205	0,182	0,169	0,186	0,228	Pas de valeur guide
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,05
Cu	1,404	0,059	0,262	1,189	1,101	1,187	1,222	1,128	1,312	0,152	2
Fe	0,021	0,318	0,108	0,000	0,000	0,000	0,000	0,069	4,532	0,415	0,3
K	19,69	11,02	10,83	13,95	5,169	5,343	5,060	5,059	13,00	5,631	Non spécifié
Mn	0,010	0,049	0,068	0,000	0,000	0,052	0,108	0,088	0,21	0,000	0,4
Na	28,93	2,622	2,740	2,376	32,52	22,31	17,64	13,73	2,349	2,252	200
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	Non spécifié
Pb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,044	0,000	0,000	0,000	0,000	0,01
Zn	0,116	0,045	0,055	0,022	0,000	0,257	0,032	0,031	0,315	0,021	3

Les Résultats qui sont présentés dans le tableau ci-haut nous montre que le taux d'Arsenic (As) est plus élevé dans les échantillons P5, P6, P7 soit 0,255 mg/L dans P5 ; 0,883 dans P6 et 0,378 dans P7 ; or l'OMS conseil que le valeur d'Arsenic

ne doit pas dépasser les normes qui est fixé à 0,01mg/L et le Plomb se trouve dans l'échantillon P6 avec un valeur élevé de 0,044, or l'OMS a fixé le Plomb à un valeur de 0,01mg/L, le taux de Fe (fer) qui est élevé dans le P9 soit 4,532 mg/l or l'OMS a fixé le Fer à 0,3mg/L. D'autres éléments cités dans le tableau ci-haut ont respectés les normes de l'organisation Mondiale de la santé.

IV. DISCUSSION DES RESULTATS

A) ANALYSES MICROBIOLOGIQUE

L'analyse bactériologique des eaux de forage de la cité universitaire de Lubumbashi a révélé plusieurs anomalies par rapport aux normes de potabilité fixées par l'OMS (2006). En principe, l'eau destinée à la consommation humaine ne doit contenir aucune bactérie indicatrice de contamination fécale (coliformes totaux, coliformes fécaux, *Escherichia coli*, streptocoques fécaux, *Clostridium perfringens*) dans 100 ml d'échantillon.

Les résultats ont démontré que les eaux des forages analysées dans cette zone étaient contaminées par la plupart des bactéries indicatrices de la pollution de l'eau. La contamination d'origine fécale a été considérable. Elle était de l'ordre de 50%, 40%, 30% et 30% proportionnellement aux Coliformes totaux, Coliformes fécaux, *Escherichia Coli* et *Salmonella* et *Shigella* et 20% de Streptocoques fécaux. Cela révèle que ces bactéries prouvent que l'eau est contaminée par des matières fécales. Généralement ce type de contamination est associé au non-respect des conditions hygiéniques.

a) Coliformes totaux et coliformes fécaux

On observe leur présence dans plusieurs échantillons (notamment P1, P5, P7, P8 et P9). Cela indique une contamination d'origine fécale ou environnementale récente. Leur détection au-delà de 0 UFC/100 ml signifie que l'eau n'est pas conforme et potentiellement dangereuse pour la santé. (OMS, 2011)

b) *Escherichia coli*

La présence d'*E. Coli*, retrouvée dans certains échantillons, (P1, P7, P8) cela confirme la contamination fécale récente. C'est un indicateur direct de risque de transmission de maladies entériques (diarrhées, gastro-entérites, typhoïdes, etc.). (OMS, 2022)

c) *Salmonella* et *Shigella*

La présence détectée dans les échantillons ; P1 (1UFC/100ml), P5 (3UFC/ 100ml), P8 (1UFC/100ml) et P9 (2UFC/100ml) ; est positive car ce sont des pathogènes stricts. Toutefois, leur absence ne compense pas la non-conformité déjà observée avec les coliformes et *E. coli*. Selon les normes de l'OMS, l'eau potable doit être exemptée de tout pathogène entérique, en particulier *Salmonella* et *Shigella* car leur présence constitue un risque sanitaire majeur. (OMS, 2011)

d) Streptocoques fécaux et *Clostridium perfringens*

La présence de streptocoques fécaux dans certains forages ; (P7 et P9) est particulièrement préoccupante. Ces bactéries sont des indicateurs de contamination fécale persistante, souvent plus résistants que les coliformes.(OMS,2011)

e) *Clostridium perfringens*

Lorsqu'il est détecté, révèle une contamination plus ancienne ou durable de la nappe phréatique or dans nos échantillons il n'y a pas la présence de *Clostridium perfringens*

La contamination bactériologie peut être liée à :

- une infiltration des eaux usées domestiques dans les forages ou latrines mal situées,
- une mauvaise protection sanitaire des forages un manque d'entretien ou de désinfection périodique des installations.

B) LA COMPOSITION MINERALE

L'analyse de la composition minérale des eaux de forage de la cité universitaire de Lubumbashi a permis d'identifier plusieurs éléments traces métalliques et de comparer leurs concentrations aux normes de potabilité fixées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2006). Les résultats montrent une variabilité des concentrations en fonction des points des prélèvements des échantillonnages.

a) Arsenic (As)

Les concentrations en arsenic atteignent 0,255 mg/L dans P5, 0,833 mg/L dans P6 et 0,872 mg/L dans P7, des valeurs largement supérieures à la limite de 0,01 mg/L recommandée par l'OMS. Cette situation constitue une source de contamination majeure, car l'ingestion chronique d'arsenic est associée à des cancers cutanés, pulmonaires et hépatiques, ainsi qu'à des effets cardiovasculaires. La présence de cet élément traduit probablement une influence géogénique et/ou anthropique (activités minières environnantes).

b) Cadmium (Cd)

Le cadmium, quant à lui, varie entre 0,002 mg/L, soit proche de la limite de 0,003 mg/L fixée par l'OMS. Bien que les valeurs restent relativement faibles, la toxicité rénale et osseuse du cadmium nécessite une surveillance accrue.

c) Fer (Fe) et Manganèse (Mn)

Le fer affiche des valeurs relativement élevées (jusqu'à 4,532 et 0,415 mg/L dans P9 et P10), légèrement supérieures à la valeur guide (0,3 mg/L). Bien que le fer ne soit pas toxique, son excès altère la qualité organoleptique de l'eau (goût métallique, coloration, dépôts). **Le manganèse** reste faible largement inférieur à la valeur de référence (0,4 mg/L), ne présentant donc pas de problème sanitaire. (OMS, 2022)

d) pH

A montré des valeurs comprises entre 6,7 et 7,9, se situant dans l'intervalle recommandé par l'OMS (6,5 – 8,5). L'eau est donc neutre et légèrement basique, ce qui est favorable pour la consommation et ne présente pas de risques de corrosion. Notre étude est similaire à celle de (Séraphin Kouakou Konan et al., 2018) qui a trouvé un pH dans la norme de l'OMS.

e) La conductivité électrique :

A varié entre 123 à 422 µS/cm, soit des valeurs nettement inférieures à la limite de 1400 µS/cm fixée par l'OMS (2022). Cette conductivité traduit une minéralisation moyenne des eaux étudiées. Nos valeurs sont inférieures à celle obtenues par Martini et al. (2009) au Sud-ouest du Congo - Brazzaville. Or la mesure de la conductivité constitue une bonne appréciation du degré de minéralisation d'une eau où chaque ion agit par sa concentration et sa conductivité spécifique.

f) Sulfates (SO_4^{2-}):

Sont comprises entre 0 à 84,2 mg/L, bien en dessous de la valeur guide par l'OMS (2022) de 500 mg/L. Cela montre que l'eau ne présente aucun risque de diarrhée ou d'effets laxatifs liés à un excès de sulfates. Notre étude est similaire à celle de Séraphin Kouakou Konanlet al (2018) qui a trouvé que le Sulfates présent dans les eaux étudiées est conforme aux normes recommandées par l'OMS pour l'eau de consommation humaine. (OMS, 2022)

g) La dureté totale :

Se situe entre 6 à 22 mg/L, ce qui classe l'eau dans la catégorie des eaux douces à moyennement dures. Ce niveau de dureté est acceptable et même avantageux pour l'usage domestique. (OMS, 2021)

Concernant les éléments majeurs, **le calcium** (2à 10,8 mg/L) et **le magnésium (Mg)** (1,2 à13, 6 mg/L) sont présents à de faibles concentrations, en deçà des limites de l'OMS (100mg/L pour Na^{2+} et 50 mg/L pour Mg^{2+}). Ces valeurs indiquent une eau équilibrée sur le plan minéral, contribuant favorablement à l'apport nutritionnel en sels minéraux. En ceux qui concernent le Calcium (Na^{2+}) et le Magnésium (Mg^{2+}), notre étude corrobore avec celle de (Séraphin Kouakou Konanlet al, 2018) qui a trouvé le Na^{2+} et Mg^{2+} dans les normes de l'Organisation Mondiale de la Santé.

Les valeurs relatives à **l'extrait sec**, au titre alcalimétrique complet (T.A.C) et aux matières en suspension (M.S) demeurent également faibles et conformes aux normes, traduisant une eau faiblement chargée en matières dissoutes. Autres éléments se trouvent en concentrations très inférieures aux valeurs guides de l'OMS. Leur présence ne représente pas de risque immédiat pour les consommateurs.

En ce qui concerne les analyses des éléments minéraux, les résultats montrent que les eaux de forage de la cité universitaire ne répondent pas aux normes de potabilité de l'OMS en sèche en raison de la forte contamination en arsenic (As) dans trois (3) échantillons d'eau P5 :0,225, P6 : 0,883 et P7 : 0,378 or l'Organisation Mondiale de la Santé a fixé les normes d'Arsenic (As) à 0,01mg/L . (OMS, 2022)

h) Plomb (Pb) :

Confer le tableau IV. Ce métal lourd constitue un danger majeur pour la santé publique, notamment chez les étudiants qui consomment quotidiennement cette eau. La concentration élevée observée de Plomb à l'échantillon P6 de 0,044, or l'OMS recommande une valeur de 0,01mg/L. Cette concentration élevée pourrait être liées aux activités minières, industrielles et à la nature géologique des sols de la région du Haut-Katanga. Tandis que Quant à la présence élevée de plomb (Pb) dans l'eau de forage (P6), Murphy (1993), dans son étude sur les niveaux de plomb et de cuivre dans l'eau de consommation en milieu scolaire, a rapporté que les eaux de consommation agressives ont eu des teneurs en plomb significativement élevées par rapport aux eaux non agressives. Or, l'eau de forage analysée dans le cadre de notre étude a un pH neutre, donc la présence de plomb à un taux élevé (0,044 mg/L) serait probablement due au vieillissement de l'équipement des canalisations des réseaux d'adduction ou de branchement souvent en plomb (Pascal et al., 2013).

Les teneurs en sodium (Na^+) et potassium (K^+) sont normales pour l'ensemble des forages car OMS n'a pas donnée la ligne directrice pour les deux métaux (pas des valeurs indiqué confer tableau V). (OMS, 2022)

CONCLUSION

Un suivi régulier de la qualité microbiologique est indispensable pour prévenir les maladies hydriques dans la communauté universitaire car l'eau de forage qui y trouve est à 50% contaminé par les germes confer le tableau III.

Dans l'ensemble, les résultats montrent que les eaux des forages de la cité universitaire de Lubumbashi présentent une bonne qualité physico-chimique et respectent les normes de l'OMS. Elles sont donc potables sur le plan physico-chimique et adaptées à la consommation humaine. L'étude démontre que la qualité minérale des eaux de forage de la cité universitaire de Lubumbashi est compromise par des niveaux élevés d'arsenic dans les échantillons; P5, P6 et P7, le plomb dans P6.

La présence de Fer (Fe) et Mn dans le forage P9 de la cité universitaire de Lubumbashi dépasse les normes de l'OMS, avec des valeurs critiques.

Cette situation traduit une contamination significative probablement liée à la nature géologique locale et aux activités minières. Leur consommation prolongée expose les usagers à des risques sanitaires graves.

Recommandation

D'interdire la consommation directe de cette eau sans traitement préalable ; de mettre en place des techniques de dépollution adaptées ; d'assurer un suivi régulier de la qualité de l'eau pour prévenir tout risque sanitaire ; de sensibiliser la population estudiantine à l'importance du traitement ou de la désinfection de l'eau avant consommation.

Référence

- [1] AFNOR (1994) : Qualité de l'Eau ; Environnement. Association Française Normalisation. 1st Edition, AFNOR, Paris, 861p.
- [2] Aïssata, B.H. (2010) : Aquifères superficiels et profonds et pollution urbaine en Afrique : Cas de la communauté urbaine de Niamey. Thèse de Doctorat, Université Abdou Moumouni de Niamey (Niamey, Niger), 249 p.
- [3] Barthe, C., Perron, J. et Perron, J.M.R. (1998): Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable. Document de travail (version préliminaire), ministère de l'Environnement du Québec, 155 p.
- [4] Bou Saab, H., Nassif, N., El Samrani, A.G., Daoud, R., Medawar, S., Ouaini, N., (2007) : Suivi de la qualité bactériologique des eaux de surface (rivière Nahr Ibrahim, Liban). *Revue des sciences de l'eau*. 20: 341–352. <https://doi.org/10.7202/016909ar>
- [5] CEAEQ (2011) : Détermination des métaux : méthode par spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des parcs du Québec, 32 p.
- [6] Kalaka M.C., Kayembe K.E., Nakadime M.T., Tshimanga E. Koj M. K. D., Badibanga K.D, Ngandu M.C., Mulungulungu N. D. : (2024) : Accessibilité et qualité microbiologique des eaux de consommation dans la zone de santé Lubumbashi à Lubumbashi RDC, International Journal of Biological Studies ISSN: 2957-7764 (Online) Vol. 4, Issue No.1, pp 45 - 61, 2024 www.carijournals.org
- [7] Martini, L., Moutou, J.M. et Kongo, M.S. (2009) : Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. *Afrique Science*, 05(1) : 82 -91
- [8] Murphy, E. A. (1993): Effectiveness of Flushing on reducing lead and copper levels in school drinking water. *Environ Health Perspect*; 101(3): 85-96
- [9] Nonvignon Martial FASSINO, Fadéby Modeste GOUISSI, Hervé Hotèkpo Akodogbo, Dagbédji, Damien TOFFA, Souradjou OROU GOURA, Wakili Bolatito YESSOUFOU, Tayéwo Sylvain BIAOU, (2022) : Evaluation De La Qualité Microbiologique des Eaux de l'Ouémé Supérieur Au Bénin. Pp. 442-453, International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT) ISSN: 2509-0119
- [10] Organisation mondiale de la santé, (1994) : Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 1-recommandations. OMS, Genève, 2e édition, 202 p
- [11] OMS (2011): Chemical fact sheets. Disponible sur <http://www.who.int/water-sanitation-health/dwq/guidelines/en/>.
- [12] Organisation mondiale de la santé, (2000) : Directives de qualité pour l'eau de boisson; volume 2 - critères d'hygiène et documentation à l'appui. OMS, Genève, 2e édition, 1050 p
- [13] OMS ;(2022): Lignes Directrice pour la qualité de l'eau potable quatrième édition, intégrant les premier et deuxième addenda.

- [14] Pascal, D. et Bruno, L. (2013) : Plomb et qualité de l'eau potable. Rapports conseil général de l'environnement et du développement durable, 80 p
- [15] OMS, (2022) : Directives de la qualité pour l'eau de boisson : quatrième édition, intégrant le premier et le deuxième addendum. Genève : Organisation mondiale de la Santé.p.120-150
- [16] Onique Kyakimwa Kyalwahi , Bijoux Musoki Furaha et Suzanne Nyanzereka Mokala, (2023) : Évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits de la Commune Mususa en Ville de Butembo. Numéro25, Août 2023, pp.111-126.
<https://doi.org/10.57988/crig-2426>
- [17] Osuolale, O., Okoh, A., (2017) : Human enteric bacteria and viruses in five wastewater treatment plants in the Eastern Cape, South Africa. Journal of Infection and Public Health 10, 541–547. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2016.11.012>
- [18] Robertson, W. (1995) : Utilités et limites des indicateurs microbiologiques de la qualité de l'eau potable. Dans : Air intérieur et Eau potable, sous la direction de Pierre Lajoie et Patrick Levallois, Presses de l'Université Laval, p. 179-193
- [19] Rodier, J., Legube, B. et Merlet, N. (2009): L'Analyse de l'eau, 9^e édition, DUNOD, Poitiers, France, 1579 p.
- [20] Séraphin Kouakou Konan, Deli Lucien Goue, Marie Jeanne Ohou-Yao, Kouassi Innocent Kouame, Lazare Kouakou Kouassi and Kouamé Bini Dongui, (2018) : Qualité chimique des eaux de consommation des populations de la ville de soubre (SUD-OUEST, COTE D'IVOIRE).
- [21] Singh, C., Singh, J.S., Kumar, V., Chandra, R., Kumar, N. (2013): Screening out of coliform bacteria from different location of Gomti river in Lucknow. African Journal of Microbiology Research 7, 3762–3771.
<https://doi.org/10.5897/AJMR12.1994>
- [22] Youmbi, J.G.T., Feumba, R., Njitat, V.T., De Marsily, G., Ekodeck, G.E., (2013) : Pollution de l'eau souterraine et risques sanitaires à Yaoundé au Cameroun. Comptes Rendus-Biologies 336 :310-316.
<https://doi.org/10.1016/j.crv.2013.04.013>