

Caractéristiques Physico-Chimiques Et Les Teneurs En Eléments Traces Métalliques (Cadmium, Plomb Et Mercure) Des Eaux Des Puits Et Des Forages Des Quartiers Batumona, Biyela, Luebo Dans La Commune De Kimbanseke A Kinshasa/RDC

KYOWIRE KAMBALI Pascaline¹, LUAMBA LUA NSEMBO Jean¹, KAMB TSHIJK Jean-Claude²,
SISA MBUNGU Edouard^{2*}, GIKUG MUNGANGA John³ et BUNDA PATA MAYALA Norbert²

¹Laboratoire de microbiologie et parasitologie, Université Nationale Pédagogique (UPN) B.P. 8815 Kinshasa I.

²Laboratoire d'hydrobiologie, Université Nationale Pédagogique (UPN) B.P. 8815 Kinshasa I, RDC.

³Laboratoire de biologie, Institut Supérieur Pédagogique de Milundu, Kwilu, RDC

*Corresponding author: edwrdsisam@gmail.com



Résumé – L'accessibilité à l'eau potable demeure un problème très sérieux pour beaucoup de villes. C'est pourquoi, les populations des milieux urbains les plus pauvres recourent essentiellement aux eaux souterraines pour leurs divers usages surtout domestiques : les eaux des puits et des forages. L'eau douce est polluée par des contaminants provenant de diverses origines : des organismes pathogènes, des traces métalliques, des déchets domestiques, des déchets des médicaments, des pesticides... Ceci constitue un problème majeur dans beaucoup de régions du monde. La mauvaise qualité entraîne de difficultés énormes pour la santé humaine surtout dans les pays en développement. Dans cette étude, l'évaluation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux des puits et des forages a été réalisée dans trois quartiers de la commune de Kimbanseke (Batumona, Biyela, Luebo), ville de Kinshasa en République Démocratique du Congo (RDC). Les paramètres physico-chimiques : le potentiel d'hydrogène (PH), la conductivité électrique (CE), l'oxygène dissous (OD), les ions solubles NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, Cl⁻ et les éléments traces métalliques (Cd, Pb, Hg) ont été analysés dans les échantillons d'eau. Les résultats de quelques paramètres physico-chimiques de l'eau ont présenté des valeurs qui ne sont pas conformes aux normes de l'organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour l'eau de boisson sort: le PH, Plomb (dans tous les puits), Cadmium (dans 2 puits).

Keywords – Accessibilité Eau Potable, Eaux Souterraines, Pollution, Contaminants, Qualité Eau, Santé Humaine, Pays En Développement, Evaluation Paramètres Physico-Chimiques, Bactériologiques, Kimbanseke, Kinshasa, République Démocratique Du Congo, Eléments Traces Métalliques, Normes OMS.

I. INTRODUCTION

L'eau est un élément essentiel à la survie, à la prévention des maladies transmissibles et au maintien de la santé. L'approvisionnement en eau est assuré par les eaux de surface (rivières, fleuves, lacs, mares, barrages), les eaux souterraines (puits, forage, sources), les eaux de pluies. Tous les points d'eau doivent être protégés pour empêcher l'introduction dans l'eau des germes fécaux Faecal Indicator bacteria : FIB) (Aubry et Gaüzère, 2021). La survie de l'homme exige une eau saine et en

qualité suffisante ; l'eau contribue au bon fonctionnement et à l'équilibre de la physiologie humaine. Vu l'importance de l'eau dans la vie, l'accès à l'eau potable devrait être une priorité.

L'accroissement de la consommation et de la dégradation de l'eau douce dans plusieurs pays du monde, représente un défi sans précédent pour l'humanité. Dans les milieux urbains, les systèmes lotiques sont devenus des décharges brutes des déchets et occasionnent plusieurs maladies d'origine hydrique (OMS, 2021, Aubry et Gaüzère, 2023).

La République Démocratique du Congo (RDC) fait face à des difficultés pour desservir sa population en eau potable bien qu'elle dispose d'énormes potentialités hydriques pouvant approvisionner toute l'Afrique.

A ce jour, beaucoup de villes et territoires sont confrontés à l'accessibilité à l'eau potable. Suivant les statistiques publiées par le Ministère de l'Energie et le Programme des Nations unies pour l'Environnement (PNUE), le taux national de desserte, qui était de 69% en 1990, est tombé à 22% en 2005 ; avant de remonter à 26% (PNUE, 2010) ; une estimation bien en dessous de la moyenne de 60% pour l'ensemble de l'Afrique subsaharienne.

Kinshasa, ville de près de 20 millions d'habitants, moins de 10% de cette population sont raccordés au réseau officiel de distribution d'eau potable (la REGIDESO). La majorité recourt à diverses sources d'eau dont les puits et les forages (Mongali, 2017).

La Commune de Kimbanseke est parmi les communes les plus peuplées et les plus pauvres de la ville de Kinshasa comptant environ 2 millions d'habitants (Shomba, 2015). La majeure partie de la population de cette commune n'est pas raccordée au réseau officiel de distribution d'eau potable et recourt aux sources d'eau disponible posant ainsi des problèmes d'ordre sanitaire, raison de choix de cette étude.

La présente étude vise l'évaluation des paramètres physico-chimiques et les teneurs en éléments traces métalliques « ETM » (Cadmium « Cd », Plomb « Pb », Mercure « Hg ») des eaux des puits et des forages des quartiers Batumona, Biyela, Luebo dans la Commune de Kimbanseke par rapport aux normes de l'OMS.

II. MILIEU D'ÉTUDE ET MÉTHODES

2.1 Milieu d'étude

La commune de Kimbanseke est limitée au Nord par la Commune de Masina, au Nord-Ouest par la Commune de N'djili, au Nord –Sud par la commune de Mont-Ngafula et au Nord- Est par la Commune de la N'sele. Elle couvre une superficie de 237,78Km², c'est la troisième commune la plus étendue de la ville province de Kinshasa après Maluku et N'Sele. Les quartiers Batumona, Biyela et Luebo sont situés dans la Commune de Kimbanseke dans la ville province de Kinshasa, capitale de la République Démocratique du Congo (Figure 1).

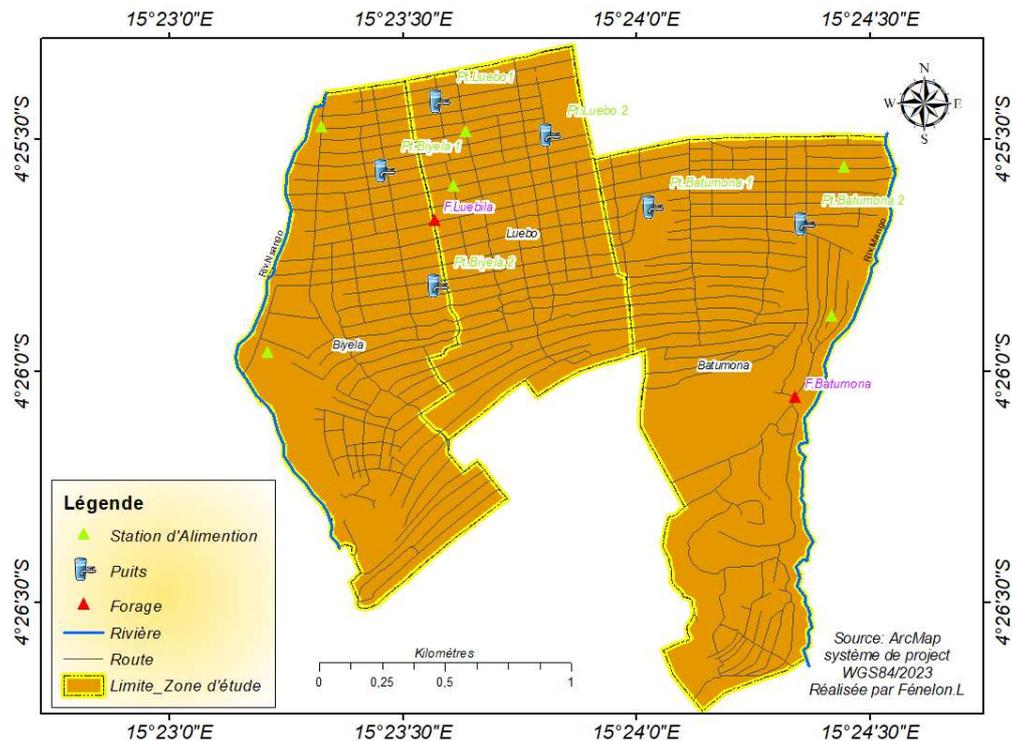


Figure 1 : Localisation des puits et forages dans les trois quartiers étudiés de la Commune de Kimbanseke.

Les caractéristiques des sols de la ville de Kinshasa varient en fonction de la structure géomorphologique des plaines, des plateaux, des collines et des marécages. Les sols de Kinshasa appartiennent à l'ordre des *hydro-xérokaolisis* et au grand groupe d'arénoféralsoils (Sys *et al.*, 1961).

2.2 Méthodes

2.2.1 Analyse des paramètres physico-chimiques

L'échantillonnage a été réalisé pendant les deux saisons à raison de 3 prélèvements par mois. Six puits et six stations de deux forages ont été retenus au cours de cette étude. Leurs codes ont été représentés de la manière suivante :

- Puits 1 et Puits 2 représentant respectivement les 1^{er} et 2^{ème} puits de Batumona, Biyela et Luebo ;
- Station 1 et station 2 correspondant respectivement à la 1^{ère} et 2^{ème} station de Batumona, Biyela et Luebo.

L'eau des puits a été prélevée manuellement en plongeant un récipient en plastique attaché à un support. Les flacons, pour éviter toute contamination externe, ont été rincés deux fois avant de les remplir d'eau (Who, 2011).

L'eau des stations de forage était prélevée à la sortie de la pompe nettoyée à l'aide de l'alcool pour éviter toute éventuelle contamination. Les flacons qui ont recueilli les échantillons ont été étiquetés avec tous les renseignements nécessaires : date, lieu et prélèvement, code du site.

Le transport et le conditionnement des échantillons ont été réalisés en les gardant au frais dans une glacière à la température de 4°C pour les analyses à effectuer au laboratoire. Les échantillons ont été envoyés au laboratoire le jour du prélèvement afin d'éviter la modification de certains paramètres liés à la durée de leur présence dans les flacons.

Les paramètres ci-après ont été prélevés *in situ* : le pH, la conductivité électrique ($\mu\text{S}/\text{cm}$), la température ($^{\circ}\text{C}$) et l'oxygène dissous (mg/L). L'analyseur multiparamètre de marque WTW340i a servi pour mesurer le pH, la conductivité et la température. L'oxymètre de marque ProDO (YSI) a été utilisé pour déterminer l'oxygène dissous.

Les autres paramètres chimiques tels que nitrite, nitrate, phosphates, chlorure, Cadmium, Plomb et mercure de l'eau des puits et des forages étudiés ont été analysés au laboratoire du Commissariat Général à l'Energie Atomique (CGEA/CREN-K).

Les dosages des nitrates, des nitrites, des phosphates ont été réalisés au spectrophotomètre (UV) de marque HACH.DR/2400.

Les ETM tels que le Cadmium, le Plomb et le mercure ont été déterminés par spectrométrie d'absorption atomique avec flamme, à l'aide d'un spectromètre de marque VARIAN Spectre AA50B.

2.2.2 Classification Ascendante Hiérarchique (CAH)

La CAH consiste à agréger les individus selon leur ressemblance, mesurée à l'aide d'un indice de similarité ou de dissimilitude. Cette méthode de classification est destinée à produire des groupements décrits par un certain nombre de variables ou caractères (Lebart *et al.*, 1995). Elle procède en fait à la construction des classes (paquets) par agglomération successive des objets deux à deux, qui fournissent une hiérarchie de partition des objets.

Il existe plusieurs méthodes de CAH et choix de calcul de la distance entre deux objets, deux classes ou un objet et une classe (Benzecri, 1973). C'est l'indice de Bray-Curtis qui a été retenu, avec la technique de regroupement agglomératif moyen, comme le recommandent Legendre et Legendre (1984).

En termes des individus et des variables, supposant que « n » individus soient caractérisés par les « p » variables ou caractères alors l'arbre est construit tel que pour les éléments qui sont dans un même groupe, chacun a plusieurs caractères communs avec les autres et chaque caractère est possédé par les membres du groupe (Husson *et al.*, 2010).

Les algorithmes qui construisent ces arbres sont connus sous le nom de « classification ascendantes hiérarchique ». Le plus utilisé est l'algorithme de Ward ou la méthode des moments d'ordre 2 (Husson *et al.*, 2010).

En classification automatique, il n'y a pas de groupes *à priori*. La méthode cherche dans le nuage de points des zones denses qui formeront des groupes qu'il restera à interpréter par la suite.

III. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Résultats

3.1.1 Paramètres physico-chimiques de l'eau

3.1.1.1 Variations stationnelles du pH

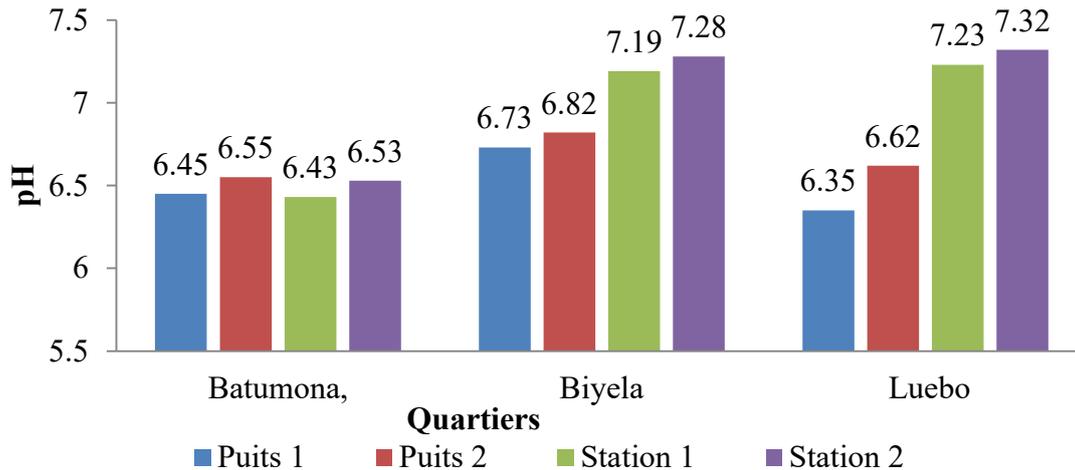


Figure 2. Variations stationnelles du pH dans les eaux des puits et forages des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les valeurs élevées du pH (Figures III.1) ont été prélevées respectivement au puits 2 de Batumona (6,55), Biyela (6,82) et Luebo (6,62). Les valeurs faibles du pH au puits 1 Batumona (6,45), Biyela (6,73) et Luebo (6,35).

Les valeurs élevées de pH des eaux des forages (Figure III.2) ont été observées à la station 2 Batumona (6,53), Biyela (7,8) et Luebo (7,32). Les valeurs faibles de pH ont été enregistrées : à la station 1 Batumona (6,43), Biyela (7,19) et Luebo (7,23).

III.1.1.2 Variations stationnelles de la conductivité

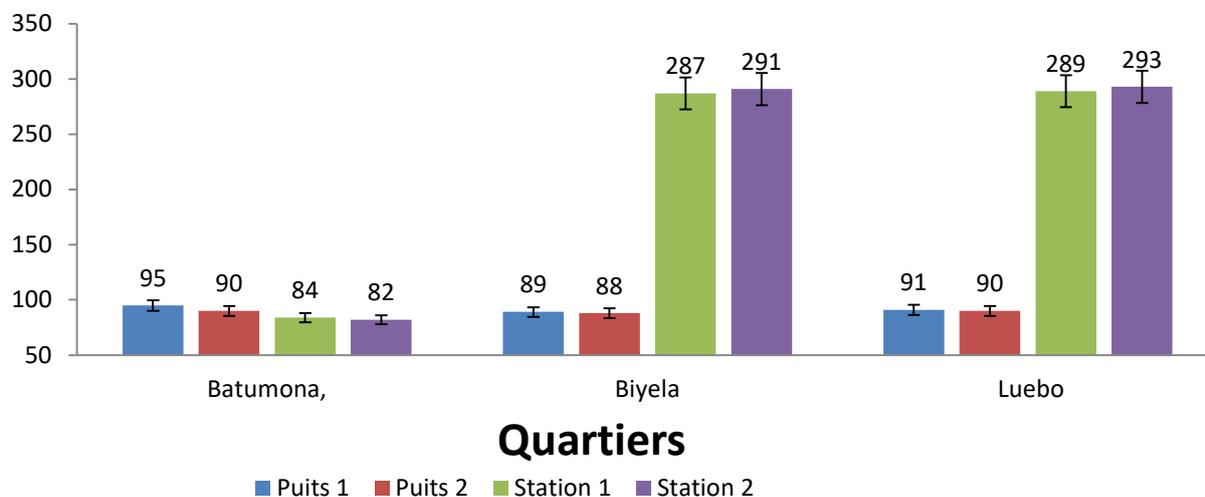


Figure 3 : Variations stationnelles de la conductivité dans les eaux des puits et des forages des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les valeurs élevées de la conductivité des eaux des puits (Figure III.3) ont été observées au puits 1 Batumona (95 $\mu\text{S/cm}$), Biyela (89 $\mu\text{S/cm}$) et Luebo (91 $\mu\text{S/cm}$). Les valeurs faibles de la conductivité sont enregistrées au puits 2 Batumona (90 $\mu\text{S/cm}$), Biyela (88 $\mu\text{S/cm}$) et Luebo (90 $\mu\text{S/cm}$).

Les valeurs élevées de la conductivité des eaux des forages (Figure III.4) ont été prélevées à la station 1 Batumona (84 $\mu\text{S/cm}$) et à la station 2 Biyela (291 $\mu\text{S/cm}$) et Luebo (293 $\mu\text{S/cm}$). Les valeurs faibles de la conductivité ont été mesurées à la station 2 Batumona (82 $\mu\text{S/cm}$) ; à la station 1 Biyela (287 $\mu\text{S/cm}$) et Luebo (289 $\mu\text{S/cm}$).

III.1.1.3 Variations stationnelles de la température

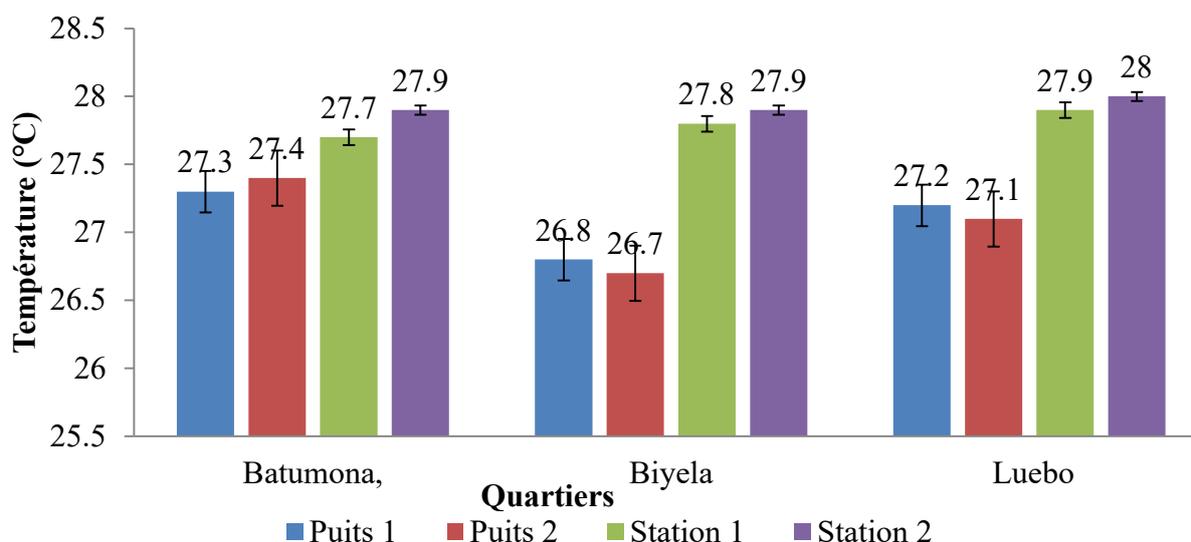


Figure III.5 : Variations stationnelles de la température dans les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les températures élevées des eaux des puits ont été prélevées au puits 2 Batumona (27,4°C) et au puits 1 Biyela (26,8°C) et Luebo (27,2°C). Les températures faibles ont été prélevées au puits 1 Batumona (27,3°C) et au puits 2 Biyela (26,7°C) et Luebo (27,1°C).

Les températures élevées des eaux des forages (Figure III.6) ont été mesurées à la station 2 Batumona (27,9°C) et Biyela et Luebo (28°C). Les températures faibles respectivement à Batumona (27,7°C), à Biyela (27,8°C) et à Luebo (27,9°C).

III.1.1.4 Variations stationnelles de l'oxygène dissous

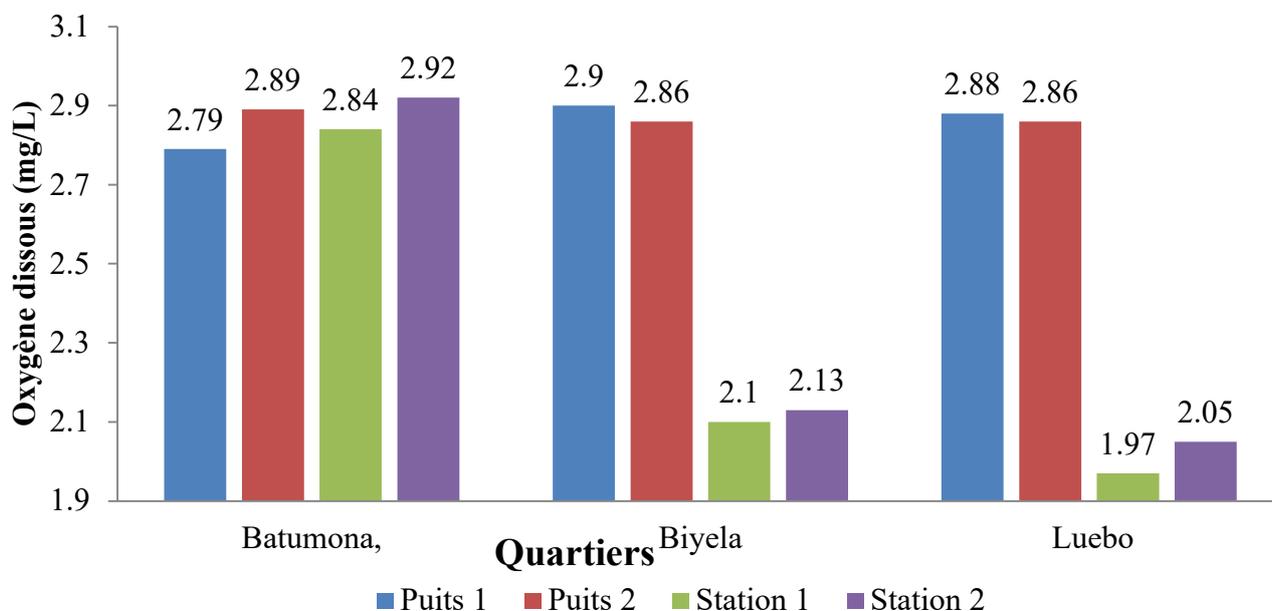


Figure III.7 : Variations stationnelles de l'oxygène dissous dans les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les quantités élevées d'oxygène dissous (Figure III.7) ont été prélevées : au puits 2 Batumona (2,89 mg/L) et au puits 1 Biyela (2,9 mg/L) et Luebo (2,88 mg/L). Les quantités faibles d'oxygène dissous ont été prélevées au puits 1 Batumona (2,79 mg/L) et au puits 2 Biyela (2,86 mg/L) et Luebo (2,86 mg/L).

Les valeurs élevées de l'oxygène dissous (Figure III.8) des eaux des forages ont été enregistrées à la station 2 Batumona (2,92 mg/L), Biyela (2,13 mg/L) et Luebo (2,05 mg/L). Les valeurs basses de l'oxygène dissous ont été enregistrées à la stations 1 Batumona (2,84 mg/L), Biyela (2,1 mg/L) et Luebo (1,97 mg/L).

III.1.1.5 Variations stationnelles de nitrate

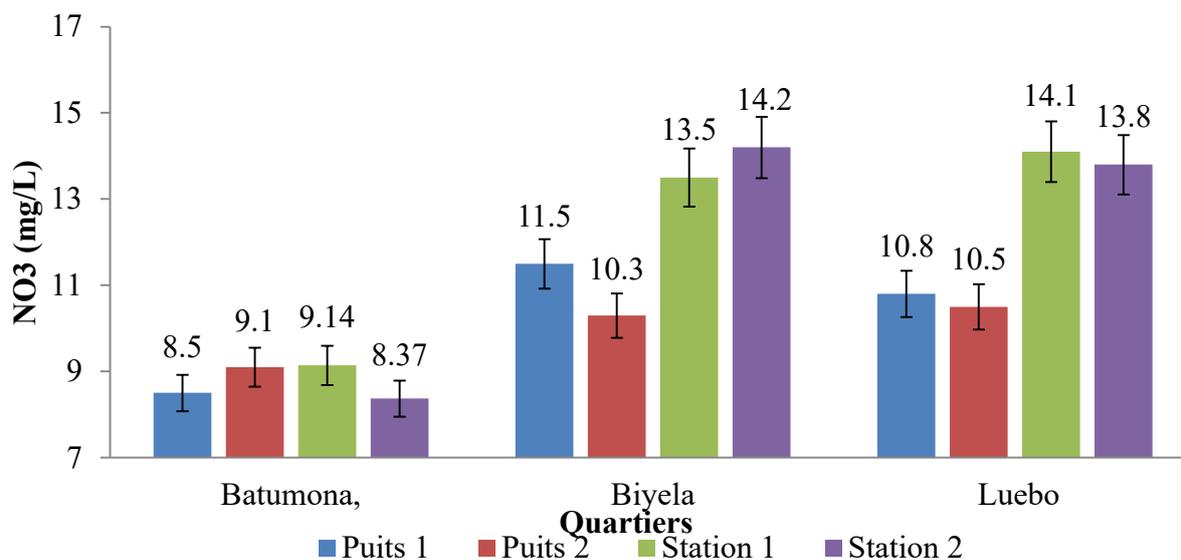


Figure III.9 : Variations stationnelles du nitrate dans les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les teneurs élevées en nitrate (Figure III.9) des eaux des puits ont été enregistrées aux puits 1 et 2 Biyela (11,5 mg/L et 10,3 mg/L) et Luebo (10,8 mg/L et 10,5 mg/L). Les teneurs faibles de nitrate ont été enregistré aux puits 1 et 2 Batumona (8,5 mg/L et 9,1 mg/L).

La teneur élevée en nitrate des eaux des forages (Figure III.10) a été enregistrées : à la station 1 Batumona (9,14 mg/L) et Luebo (14,1 mg/L) et à la station 2 Biyela (14,2 mg/L). La teneur faibles teneurs en nitrate a été enregistrée à la station 2 Batumona (8,37 mg/L) et Luebo (13,8 mg/L) et à la station 1 Biyela (13,5 mg/L).

III.1.1.6 Variations stationnelles de nitrite

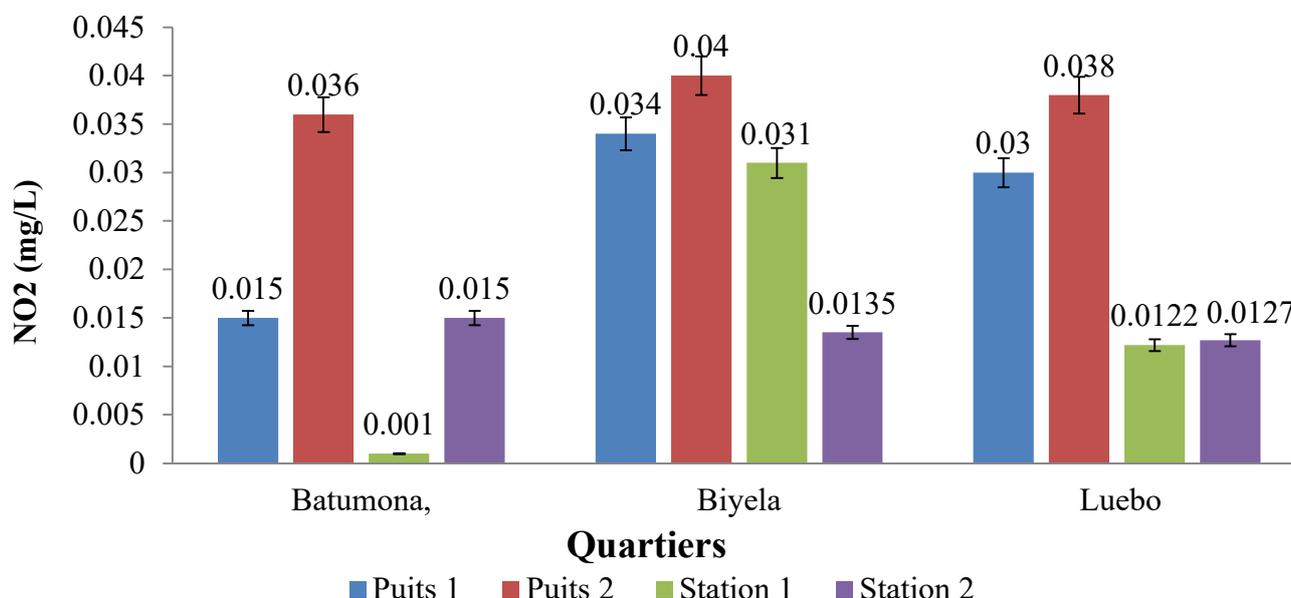


Figure III.11 : Variations stationnelles du nitrite dans les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les teneurs élevées en nitrite (Figure III.1) ont été enregistrées au puits 2 Batumona (0,036 mg/L), Biyela (0,04mg/L) et Luebo (0,038mg/L). Les teneurs faibles en nitrite ont été au puits 1 dans les quartiers Batumona (0,015 mg/L), Biyela (0,034mg/L) et Luebo (0,03mg/L).

Les teneurs les plus élevées en nitrite (Figure III.12) ont été enregistrées à la station 2 dans les quartiers Batumona (0,015 mg/L) et Luebo (0,0127 mg/L) et à la station 1 du quartier Biyela (0,031 mg/L). Les faibles teneurs en nitrite ont été dosées à la station 1 Batumona (0,001 mg/L) et Luebo (0,0122 mg/L) et à la station 2 Biyela (0,0135 mg/L).

III.1.1.7 Variations stationnelles des phosphates

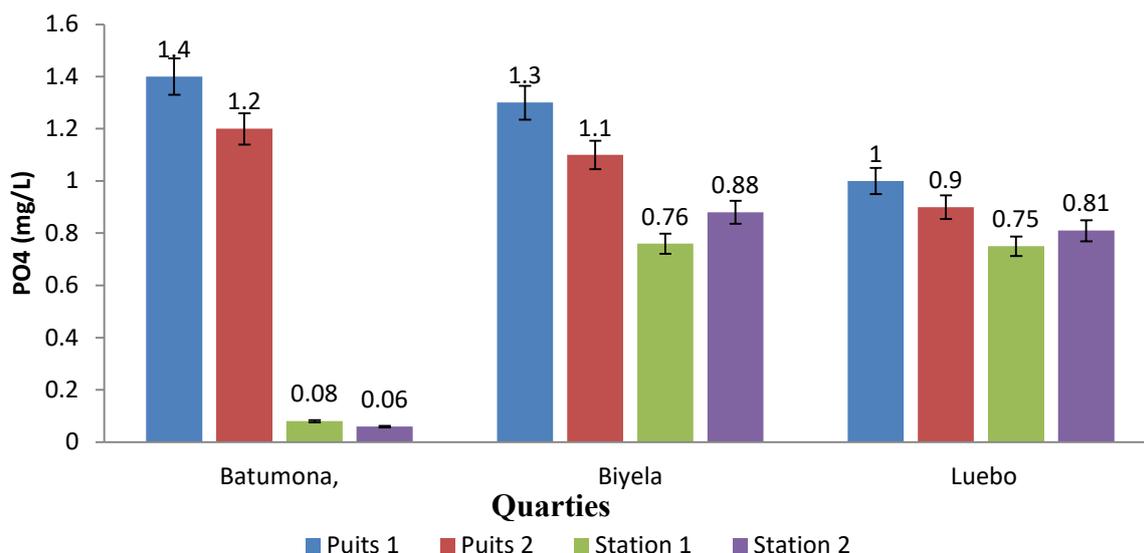


Figure III.13 : Variations stationnelles de phosphates dans les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les teneurs les élevées en phosphates (Figure III.13) des eaux des puits de trois stations ont été dosées : au puits 1 Batumona (1,4 mg/L), Biyela (1,3 mg/L) et Luebo (1 mg/L). Les teneurs faibles en phosphates enregistrées : au puits 2 Batumona (1,2 mg/L), Biyela (1,1 mg/L) et Luebo (0,9 mg/L).

Les teneurs élevées en phosphates des eaux des forages (Figure III.14) ont été enregistrées à la station 1 Batumona (0,08 mg/L), station 2 Biyela (0,088mg/L) et Luebo (0,81 mg/L). Les teneurs faibles en phosphates ont été enregistrées à la station 2 Batumona (0,06 mg/L), à la station 1 Biyela (0,76 mg/L) et Luebo (0,75 mg/L).

III.1.1.8 Variations stationnelles de chlorure

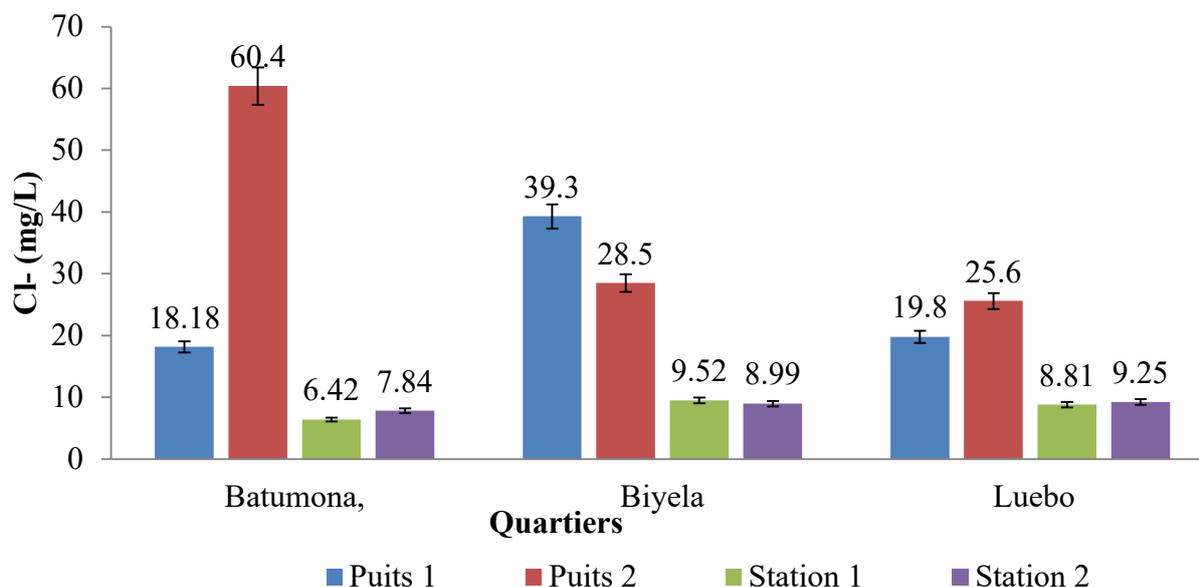


Figure III.15 : Variations stationnelles de chlorure dans les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les teneurs élevées en chlorure ont été enregistrées au puits 2 Batumona (60,4 mg/L) et Luebo (25,6 mg/L) et au puits 1 Biyela (39,3 mg/L). Les teneurs faibles en chlorure ont été enregistrées au puits1 Batumona (18,18 mg/L) et Luebo (19,8 mg/L) et au puits 2 Biyela (28,5 mg/L).

Les teneurs les plus élevées en chlorure des eaux des forages ont été enregistrées à la station 2 Batumona (7,84 mg/L) et Luebo (9,25 mg/L) et au puits 1 Biyela (9,52 mg/L). Les faibles teneurs en chlorure ont été enregistrées au puits 1 Batumona (6,42 mg/L) et Luebo (8,81 mg/L) et à la station 2 Biyela (8,99 mg/L).

3.1.2 Teneurs en ETM dans les eaux de puits

3.1.2.1 Variations stationnelles de cadmium

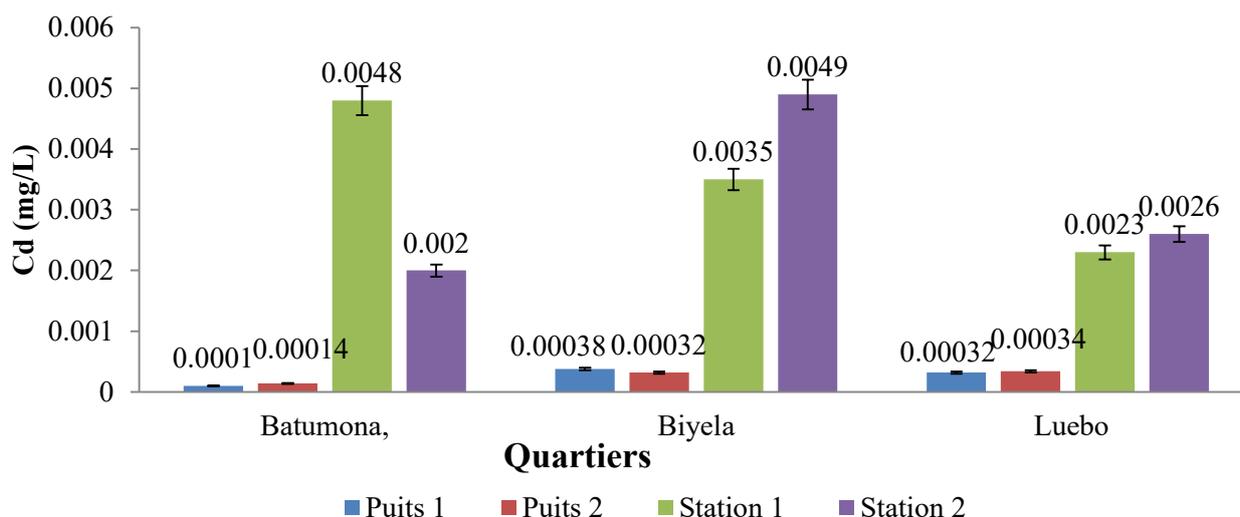


Figure III.17 : Variations stationnelles de cadmium dans les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les teneurs élevées en cadmium des eaux des puits ont été enregistrées aux puits 2 Biyela (0,0049 mg/L) et Luebo (0,0026 mg/L) et au puits 1 Batumona (0,0048 mg/L). Les teneurs faibles en cadmium ont été enregistrées au puits 1 Biyela (0,0035 mg/L) et Luebo (0,0026 mg/L), et au puits 2 Batumona (0,002 mg/L).

Les teneurs élevées en cadmium des eaux des forages ont été enregistrées à la station 2 Batumona (0,00014 mg/L) et Luebo (0,00034 mg/L) et à la station 1 Biyela (0,00038 mg/L). Les teneurs faibles en cadmium ont été enregistrées à la station 1 Batumona (0,0001 mg/L) et Luebo (0,00032 mg/L) et à la station 2 Biyela (0,00032 mg/L).

3.1.1.10 Variations stationnelles de plomb

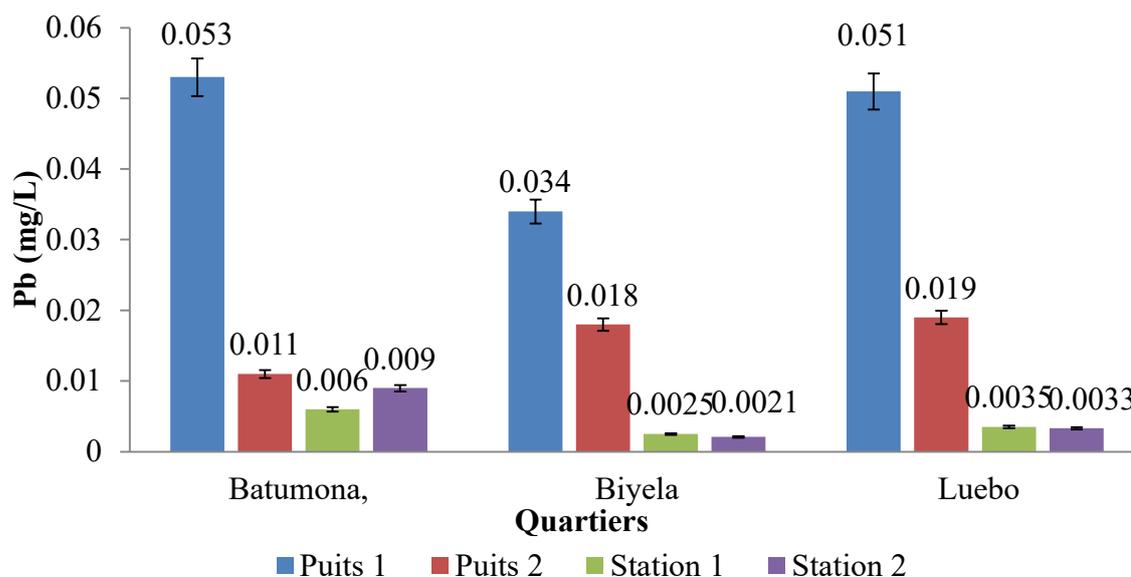


Figure III.19 : Variations stationnelles de plomb dans les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les teneurs élevées en plomb des eaux des puits (Figure III.19) ont été enregistrées au puits 1 Batumona (0,053 mg/L), Biyela (0,034 mg/L) et Luebo (0,051 mg/L). Les faibles teneurs ont été enregistrées à la station 2 Batumona (0,011 mg/L), Biyela (0,018 mg/L) et Luebo (0,019 mg/L).

Les valeurs les plus élevées en plomb des eaux des forages ont été enregistrées à la station 2 Batumona (0,009 mg/L) et à la station 1 Biyela (0,0025 mg/L) et Luebo (0,0035 mg/L). Les valeurs basses ont été enregistrées à la station 1 Batumona (0,006 mg/L) et à la station 2 Biyela (0,0021 mg/L) et Luebo (0,0033 mg/L).

3.1.1.1 Variations stationnelles de mercure

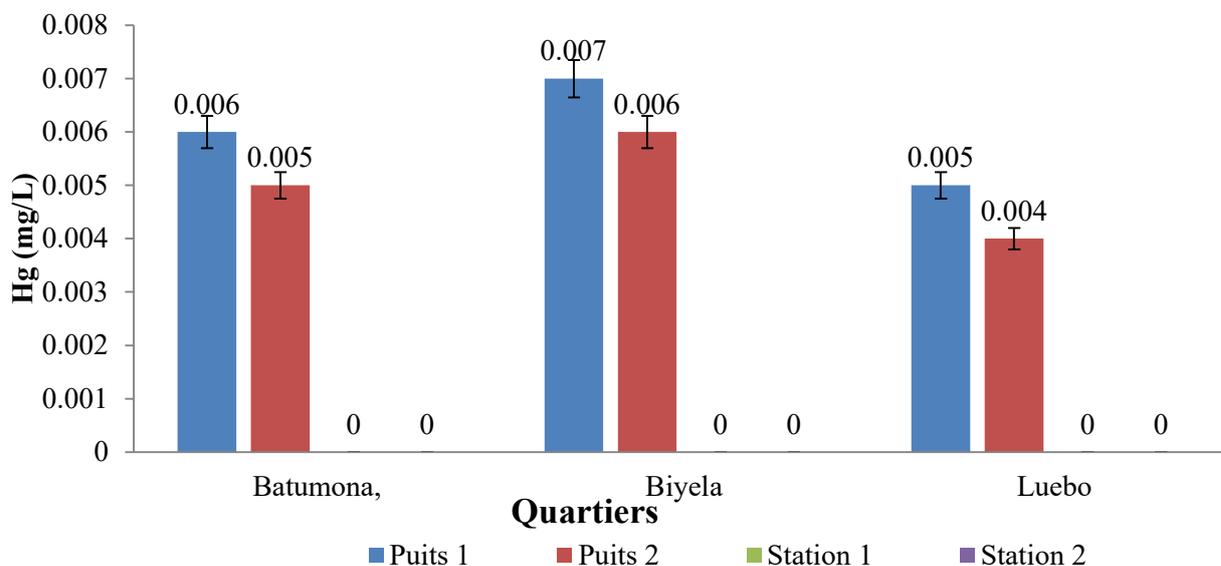


Figure III.21 : Variations stationnelles de mercure des eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

Les teneurs élevées en mercure des eaux des puits (Figure III.21) ont été enregistrées aux puits 1 Batumona (0,006 mg/L), Biyela (0,007 mg/L) et Luebo (0,005 mg/L). Les teneurs faibles ont été enregistrées au puits 2 Batumona (0,005 mg/L), Biyela (0,006 mg/L) et Luebo (0,004 mg/L).

Aucune trace de mercure n'a été enregistrée dans les eaux des forages des quartiers Batumona, Biyela et Luebo.

IV. DISCUSSION

L'eau est une denrée alimentaire importante pour la vie des êtres vivants (humains, animaux, végétaux) mais, sa consommation peut être un véhicule des maladies dites hydriques si elle ne répond pas aux normes ou qualités physicochimiques et microbiologiques établies par l'OMS et l'Union Européenne (Clegbaza, 2000).

Le pH renseigne sur l'acidité ou l'alcalinité du milieu. La valeur acceptable par l'OMS (2006) pour l'eau de boisson est dans l'intervalle de 6,5 et 8,5. En dessous de la valeur minimale, l'eau a un goût amer, métallique corrodant ainsi le matériel. Au-delà de la valeur maximale, les effets indésirables sont une sensation de glissement, un goût de soda et une présence de dépôts. Le pH d'une source peut varier naturellement en fonction de l'origine des eaux, de la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé.

Les résultats sur le pH des eaux des puits renseignent que les eaux des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo, ont un pH oscillant entre 6,35 et 6,82, indiquant que ces eaux sont légèrement acides. Ces résultats vont dans les mêmes sens que ceux de Bawa *et al.* (2008) et de Balloy *et al.*, 2019.

L'acidité des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo pourraient s'expliquer par la nature de la roche sur laquelle repose la nappe phréatique. Cette acidité des eaux souterraines a été observée dans plusieurs régions du bassin sédimentaire côtier. Il s'agit de la région du Mayombe (Moukolo, 1992 et Ngouala, 2008), de la région de Brazzaville (Moukolo, 1984 ; Opo, 2009 ; Matini *et al.*, 2009). Ces eaux sont agressives.

Les résultats montrent que les pH des eaux des forages sont à tendance basique et que ceux des eaux des puits sont proches de la neutralité excepté les stations de Batumona. Les eaux des forages ont le pH tournant autour de la neutralité. Ces résultats sont proches de ceux de Kouame *et al.*, 2021.

La conductivité électrique désigne la capacité de l'eau à conduire le courant électrique, et dépend de sa teneur en sels minéraux. Elle donne une idée de la minéralisation et constitue un bon marqueur de l'origine d'une eau. Elle permet aussi d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau (Ould Cheikh *et al.*, 2011).

Les valeurs de la conductivité observées dans les puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo ont tourné autour de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 95 $\mu\text{S}/\text{cm}$. La faible minéralisation de l'eau des puits obtenue est contraire aux résultats de Tampo *et al.* (2014). Toutefois, les valeurs obtenues sont comparables à celles mesurées par Adejuwon et Mbuk (2011). Selon Mbilou *et al.* (2016), ces valeurs de la conductivité peuvent par la minéralisation des eaux souterraines par l'hydrolyse des différents minéraux contenus dans les roches aquifères dans les systèmes multi aquifères.

Deux autres phénomènes participent à la minéralisation des eaux souterraines, il s'agit du pluviollessivage des sols et de l'intervention des activités anthropiques dans la pollution des eaux de surface et des eaux des nappes superficielles.

Les valeurs de la conductivité recueillies dans les stations des trois forages ont montré une grande importance aux stations 2 de forage Luebo, (293 $\mu\text{S}/\text{cm}$), station II de forage Biyela (291 $\mu\text{S}/\text{cm}$), stations 1 de forage Luebo, (289 $\mu\text{S}/\text{cm}$) et station 1 de forage Biyela (287 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Cette situation s'expliquerait par une forte minéralisation des nappes phréatiques des eaux des forages. Ces résultats corroborent avec ceux de El Alaoui et Hajhoui, 2010.

Il est primordial de connaître la température d'une eau. En effet elle joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (Mbilou *et al.*, 2016).

La température enregistrée dans les six stations des puits étudiés a varié de 26,7°C au 27,4°C. Les valeurs de la température ont oscillé entre 27,7 °C dans le forage Biyela et 27,9°C pour le forage Batumona.

Les valeurs enregistrées rejoignent celles de Mbilou *et al.*, (2016). Cette température qui correspond aux variations saisonnières des températures atmosphériques ambiantes s'inscrit dans l'intervalle des valeurs définies par Vesolo Mouanda (2009) et Moukandi-N'kaya (2012) dans les eaux souterraines de la région de Pointe Noire. Cela indique l'ouverture du système aquifère, donc de sa vulnérabilité vis -à- vis de la pollution.

La valeur la plus élevée de l'oxygène dissous a été obtenue au puits 1 du quartier Biyela (2,9mS /L) du puits 2 du quartier Batumona 2,89 mS/L et du puits 1 du quartier Luebo (2,88 mS /L). La plus basse valeur était 2,79 mg/l à la station I de Batumona. Ces résultats confirment ceux de Belghite *et al* 2013.

La valeur la plus élevée de l'oxygène dissous a été enregistré à la station 2 de forage Batumona (2,92 mg/L) et la plus basse a été signalée à la station 1 (1,97mg/L) du quartier Luebo. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Traore, 2003.

Selon Ould Cheikh *et al.*, (2011), les ions ammonium (NH_4^+) subissent une nitrification par action des bactéries nitrifiantes.

L'azote nitreux (NO_2^-) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction de nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et sont rapidement transformés en nitrates.

L'azote nitrique (NO_3^-) est produit par nitrification de l'azote ammoniacal. Les nitrates peuvent être à l'origine de la formation de nitrites et de nitrosamines, responsables de deux phénomènes potentiellement pathologiques : la méthémoglobinémie et un risque de cancer.

La forte concentration des nitrates peut provoquer un problème de santé publique importante comme la méthémoglobinémie, surtout pour les enfants de moins de 6 mois et les femmes enceintes ou nourrices.

Au niveau des eaux d'alimentation des quartiers Batumona, Biyela et Luebo, les valeurs de nitrate qui y ont été enregistrées entre 8,5 et 11,5 mg/L dans les puits. Les valeurs de Nitrate dans les eaux des forages ont oscillé entre 8,37mg/L et 14,2 mg/L. Cette augmentation de la concentration en nitrates serait liée à l'infiltration des eaux usées ou l'usage des engrais chimiques à proximité de ces puits (Mpakam, 2009). Ces puits et forages se retrouvent dans un milieu urbanisé. Ces résultats attestent ceux de Traore (2003).

Les phosphates sont naturellement présents dans le sol (matières minérales organiques) mais leur principale source dans les eaux souterraines sont les activités agricoles (lessivage et infiltration) (Azanga *et al.*, 2016). Des teneurs élevées peuvent contribuer aux problèmes de turbidité liés au verdissement des eaux (eutrophisation).

Les valeurs enregistrées au niveau des puits sont nettement supérieures à celles des forages. Cette différence s'explique par le fait que les eaux les plus superficielles (puits) sont plus proches des sols cultivés donc plus exposés à la pollution des phosphates. Ces puits seraient donc situés dans des zones agricoles. Ainsi, les eaux des puits peuvent, également, être considérées comme polluées du fait de leurs teneurs en phosphates dépassant largement les normes de l'OMS. Lagnika *et al.* (2014) ont obtenues des teneurs inférieures dans les eaux des puits de la commune de Pobè.

Les nitrites sont assez largement présents dans les sols, les eaux, les produits alimentaires et l'atmosphère, mais à des niveaux plus faibles que les nitrates. Ils peuvent provenir d'une oxydation incomplète des matières organiques, à la réduction des nitrates par les anaérobies sulfite-réducteurs ou encore à l'oxydation bactérienne de l'ammoniac (Bengoumi *et al.*, 2004).

Leur présence dans l'eau en quantité importante peut dégrader sa qualité et affecter la santé humaine du fait de son important pouvoir oxydant. Les résultats du dosage des nitrites dans les eaux des différentes sources ont révélé des teneurs plus élevées au niveau des puits.

Le lessivage des fertilisants agricoles peut entraîner une contamination importante en nitrites des nappes peu profondes. Ces teneurs sont, cependant, supérieures à celles obtenues par Lalami *et al.* (2014). Leurs travaux effectués sur les eaux des puits et des forages dans la commune de Kimbaseke, ont révélé des teneurs inférieures à 0,11 mg/L.

Les nitrites sont de puissants oxydants qui ont la capacité de transformer l'hémoglobine en méthémoglobine, rendant le sang incapable de transporter l'oxygène jusqu'aux tissus. De tels effets ont été observés chez de nombreuses espèces animales.

Les nitrites sont toxiques pour l'organisme humain, sa présence en quantité importante dégrade la qualité de l'eau. Ces ions ont été détectés dans les puits et forages des quartiers Batumona, Biyela et Luebo. Cette situation serait liée aux activités anthropiques notamment l'infiltration des eaux usées et l'utilisation des engrais chimiques en agriculture. C'est un risque sanitaire pour les populations qui sont tributaires de l'eau des puits pour leur besoin.

Dans les puits les teneurs de chlorure les plus élevées ont été enregistrées au puits 2 Batumona (60,4 mg/L). Et les valeurs très basses des chlorures ont été observées au puits 1 Batumona (18,18 mg/L).

Dans les forages, les teneurs en chlorure sont nettement inférieures à celles des puits. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées à la station 1 Biyela (9,52 mg/L) et les plus basses ont été observées à la station 1 Batumona (6,42 mg/L).

Les résultats de cette recherche montrent que le cadmium était en forme de trace dans les puits étudiés. Leurs valeurs ont varié entre 0,002 mg/L (puits 2 de Batumona) et 0,0049 mg/L (puits 2 Biyela).

Les teneurs en cadmium dans les eaux des forages étaient entre 0,000103 mg/L (Forage Batumona) et 0,000384 mg/L (Forage Biyela).

Les résultats obtenus révèlent que les valeurs de plomb dans les six puits ont varié de 0,011 à 0,053 mg/l. Dans les forages les valeurs de Plomb ont oscillé entre 0,006 mg/l à 0,0035 mg/l. Ces résultats rejoignent ceux de l'OMS (2019).

La valeur la plus élevée en mercure a été enregistrée dans le puits 1 de Biyela (0,007 mg/L) et puits 2. La plus faible valeur a été obtenue au puits 1 Luebo (0,004 mg/L). La figure III.18 révèle que, les valeurs de Mercure ont été quasiment nulles pour toutes des forages étudiés. Ces résultats certifient ceux de Bouziani (2006).

L'analyse des métaux lourds des puits et des forages des quartiers Batumona, Biyela et Luebo a montré la présence du Cadmium, du Plomb et de mercure dans les puits. Dans les eaux de forage, les valeurs de cadmium et plomb sont insignifiantes ; le mercure y est absent.

Les métaux détectés dans des puits dans des puits des quartiers Batumona, Biyela et Luebo ont indiqué des concentrations variables restant quelquefois loin des normes de l’OMS pour ces métaux. Les éléments des traces métalliques (ETM) enregistrés montrent que leur origine ne pourrait être que géologiques et naturelle dans la mesure où les forages sont loin de la ville.

V. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Cette étude avait pour objectif d’évaluer la qualité des eaux des puits des forages de la Commune de Kimbanseke. Elle montre que les puits sont peu profonds avec une profondeur moyenne de 5 m, alors que les forages sont très profonds avec une profondeur de 80 m et 150 m.

Cette étude conduit à la mise en évidence des différentes caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux des puits et des forages de notre zone d’étude. Les résultats nous renseignent du point de vue physique que le p^H des eaux de forage est autour de la neutralité. Les valeurs de conductivité électrique observées dans les puits ont tourné autour de 60 $\mu S/cm$. Il y a une faible minéralisation des puits.

Les eaux des forages présentent des valeurs de conductivité élevée variant entre 287 $\mu S/CM$ et 293 $\mu S/cm$. Ceci s’expliquerait par une forte minéralisation de ces eaux. La température enregistrée dans les eaux des puits a varié entre 26,7 °C et 27,4°C et dans les forages les valeurs de température varient entre 27,7°C et 27,9°C. ces températures correspondent aux variations saisonnières des températures atmosphériques.

Les valeurs de l’oxygène dissous observées dans les eaux des puits et dans les eaux des forages sont inférieures aux normes de l’OMS (5mg/L).

Les nitrates sont aussi présents dans les puits que dans les forages. L’augmentation des nitrates dans les puits serait liée à l’infiltration des eaux usées ou l’usage des engrais chimiques à proximité de ces puits. Les nitrites ont été détectés dans les puits et dans les forages mais en quantité non importante dans les forages soit des valeurs entre 0,001 et 0,031 mg/L.

Les valeurs des phosphates enregistrées au niveau des puits sont très supérieures à celles des forages. Les eaux des puits sont considérées comme polluées du fait de leur teneur en phosphate dépassant largement les normes de l’OMS.

Les résultats obtenus révèlent que la teneur en cadmium est trop élevée dans les puits avec des valeurs assez importantes. Les valeurs de plomb dans les 6 puits sont supérieures aux normes de l’OMS. Dans les forages, les valeurs de plomb sont dans les normes de potabilité de l’eau. Elles varient entre 0,006mg/L et 0,0021mg/L. Dans les puits, les valeurs de mercure variant entre 0,004 mg/L et 0,007 mg/L sont dans les normes de l’OMS (0,006 mg/L), sauf pour les puits 1 Biyela (0,007 mg/L).

RÉFÉRENCES

- [1]. Aubry, P., et Gaüzère, B-A., 2021. Les maladies liées à l’eau, Centre René Labusquière, Institut de Médecine Tropicale, Université de Bordeaux, 33076 Bordeaux (France), 10p.
- [2]. Aubry, P., et Gaüzère, B-A., 2023. Les maladies liées à l’eau, Centre René Labusquière, Institut de Médecine Tropicale, Université de Bordeaux, 33076 Bordeaux (France), 9p.
- [3]. Balloy, Katond et Hanocq, 2019. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des puits dans le quartier spontané de Luwowoshi (RD Congo). *Tropicultura*, vol. 37, N° 2.
- [4]. Bawa LM, Tchakala I. et Djanéyé-Boundjou G., 2008. Détermination de la demande en chlore des eaux des puits d’un quartier périurbain de la ville de Lomé : incidence sur le démontage. *Journal des Sciences et Technologie -2008 vol.7 n°2* p.19-24.
- [5]. Belghiti, M. L., Chahlaoui, A., Bengoumi, D., & El Moustaine, R. (2013). Etude de la qualité physico- chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (14).
- [6]. BelguitiML, ChahlaouiA, BengoumiD, EL Moustaine R., 2013. Etude de la qualité physicochimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plioquaternaire dans la région de Meknès (Maroc) *Larhyss Journal*, 14: 2136.

- [7]. Benzécri J.-P., 1973. L'Analyse des Données. Tome 1: La Taxinomie. Tome 2: L'Analyse des Correspondances (2de. éd. 1976). Dunod, Paris.
- [8]. Chaker-Houd, K. et Slimani, A. «Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'abreuvements des ruminants dans la zone semi-aride d'Oum El Bouaghi, nord-est de l'Algérie». *Livestock Research for Rural Development*, 2014, vol. 26.
- [9]. El Alaoui E.A.H et Hajhouji Y., 2010 : L'hydrochimie et qualité des eaux de surfaces et souterraines du Haouz, mémoire de LST, Faculté des sciences et Techniques de Marrakech (Maroc), 47p.
- [10]. Husson, F. and J. Josse, 2010. missMDA : Handling missing values with/in multivariate data analysis (principal component methods). R package version 1.2
- [11]. Kanouté Yamadou, 2019, Evaluation de la qualité de boisson à Mopti et Sévaré, Thèse d'exercice en Pharmacie 2018- 2019, 152 pages.
- [12]. Kibi, N., Sanon, K., Traoré, R., Tandamba, H. P., & Thiombiano, T. (2003). Résolution des conflits liés à l'eau par la communication participative dans le bassin du Nakanbé au Burkina Faso: rapport final.
- [13]. Kouame, Kedi, Kouassi, Konan, Assouhou, Yapo et Gnagne, 2021. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de forage à usage domestique dans la ville de Daloa (centre-ouest de la Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Science* 15 (2) 835-845pp.
- [14]. Lagnika M, Ibikounle M, Montcho, J.C, Wotto V.D., Sokiti N.G. 2014 Caractéristiques physico-Chimiques de l'eau des puits dans la commune de Pobè (Bénin, Afrique de l'Ouest) *Journal of Applied Biosciences/Vol.79*.
- [15]. Lalami, A. E. O., Zanibou, A., Bekhti, K., Zerrouq, F., Merzouki, M., & Ouali, E. (2014). Contrôle de la qualité microbiologique des eaux usées domestiques et industrielles de la ville de Fès au Maroc (*Microbiological Control wastewater domestic and industrial city of Fes Morocco*). *Journal of Materials and Environmental Science*, 5, 2325-2332.
- [16]. Lebart L., Piron M. et Morineau A 1995, *Statistique exploration multidimensionnelle*, Paris : Dunod, 439 p.
- [17]. Legendre L. & P. Legendre, 1984. *Ecologie numérique. Tome 1 : le traitement multiple des données écologiques*. 2ème édition, Masson, Paris et Presses de l'université du Québec. 260 p.
- [18]. Matini L., Moutou J.M., Kongo-Mantono M.S., 2009. Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo. *AfriqueScience*, 05(1): 82-98.
- [19]. Mbilou, U. G., Tchoumou, M., Ngouala, M. M., & Balounguidi, J., 2016. Hydrogeochemical and microbiological characterization of ground water in the system of aquifers multi layer of pointe-noire in republic of congo. *LARHYSS Journal P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782*, (28), 257-273.
- [20]. Mouanda Esolo T., 2009. Etude hydrogéologique et hydrodynamique de la nappe profonde n°1 de l'aquifère de PointeNoire. Mémoire d'Ingénieur. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, 88p.
- [21]. Moukandi -N'kayag.D., 2012. Etude hydrogéologique, hydrochimique in situ et modélisation hydrodynamique du système aquifère du bassin sédimentaire de la région de Pointe -Noire. Thèse de doctorat. Université Marien Ngouabi, Congo Brazzaville, 132 p + annexe.
- [22]. Moukolo N., 1984. Ressources en eau souterraine et approvisionnement: Essais d'analyse socio-économique en région équatoriale humide. Thèse de doctorat 3ème cycle. Univ Montpellier, 90p + Annexe.
- [23]. Moukolo N., 1992. Hydrogéologie du Congo. Document du BRGM, No210.Ed. BRGM. Orléans, 128 p.
- [24]. Mpakam, H. G., 2009. Vulnérabilité à la pollution des ressources en eau à Bafoussam (Ouest-Cameroun) et incidences socio-économiques et sanitaires: Modalités d'assainissement (Doctoral dissertation, Thèse Doctorat/Ph. D, Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences, Université de Yaoundé I, Cameroun. 298p).
- [25]. Ngouala-Mabonzo M., 2008. Etude hydrogéologique de la nappe du bassin supérieur de laLoémé (Mayombe). Mémoire de Maitrise en géographie physique. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, Congo, 68p
- [26]. OMS, 2021. Les dix principaux faits sur la crise mondiale de l'eau, 29 Aout 2021.
- [27]. Opo U.F., 2009. Qualité des eaux souterraines des quartiers périphériques de l'Arrondissement I de Brazzaville. Mémoire de DEA. Université Marien Ngouabi, Brazzaville, 130p + annexes.

- [28]. Ould Cheikh MEK, El Kacemi K, Idrissi L., 2011. Caractérisation physicochimique des eaux d'alimentation de la ville de Tijikja (Mauritanie). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*,5 (5):2133-2139. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i5.33>.
- [29]. Tampo L., Ayah M. Kodom T. Tckakala. T., Bogride P, Bawa, 2014 : Caractéristiques physico-chimiques de l'eau des puits dans le Commune de Pobé (Benin, Afrique de l'Est). Département de Zoologie Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abonye- calvi, 01 BP : 526 Cotonon, Laboratoire d'Analyses d'eau des eaux, Service de l'eau de Borgon, Direction Départementale de l'Energie et de l'eau
- [30]. Shomba S. ; Mukoka F., Olela D. ; Kamina TM., Mbalanda W. (2016) : Monographie de la ville de Kinshasa, Ed. Kinshasa Montréal- Washington 2015, 40-42, 105p.
- [31]. Sys C., Van Wambeke A. et Frankart J., 1961. Cartographie des sols au Congo. Ses principes, ses méthodes. Publ. INEAC, Sér. Scient.n° 66, Bruxelles, 349p.
- [32]. Who, 2011. Guidelimes for drinking- water quality, third edition incorporating the first and second addenda, volume 1, Recommendations-Reperées à <http://apps.who.int/iris/bistream/10665/204411/1/9789241547611-eng.pdf..>