

Evaluation de la Qualité Physico-Chimique et Microbiologique des eaux de Puits Consommées dans le Quartier Kombé à Brazzaville

Tchoumou Martin, Maître de Conférences
Louzayadio Mvouezolo Raison Félicien, Maître-Assistant
Malera Kombo Merci Adonai, Doctorant
Moussoki Nsona Promesse, Doctorante
Ouamba Jean-Maurille, Professeur Emérite

Unité de Chimie du Végétal et de la Vie, Faculté des Sciences et Techniques,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

[Doi:10.19044/esj.2024.v20n12p82](https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n12p82)

Submitted: 06 September 2023

Accepted: 16 April 2024

Published: 30 April 2024

Copyright 2024 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Tchoumou M., Louzayadio Mvouezolo R.F., Malera Kombo M.A., Moussoki Nsona P. & Ouamba J.M. (2024). *Evaluation de la Qualité Physico-Chimique et Microbiologique des eaux de Puits Consommées dans le Quartier Kombé à Brazzaville*. European Scientific Journal, ESJ, 20 (12), 82. <https://doi.org/10.19044/esj.2024.v20n12p82>

Résumé

Naturellement, les eaux souterraines sont potables de façon générale et devraient être consommées sans aucun traitement préalable. Malheureusement, ces eaux sont soumises actuellement à une forte pression anthropique. Cette étude vise d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits consommées dans le quartier Kombé à Brazzaville. Quatre puits ont été identifiés et caractérisés. La caractérisation a montré trois puits équipés des mêmes systèmes de protection et de remontée d'eau et, un seul point de prélèvement diffère des autres par le système de remontée d'eau. Trente-trois paramètres physico-chimiques et neuf paramètres microbiologiques ont été évalués par des méthodes normées et référencées. Les résultats obtenus révèlent du point de vue physico-chimique que, les eaux de puits étudiées sont faiblement minéralisées et tous les paramètres physico-chimiques répondent aux normes de l'OMS, excepté le pH, la concentration des ions cadmium, chrome, phosphate ainsi que de la silice dans certains cas. Une seule famille chimique est mise en évidence : les eaux chlorurées sodique

et potassique. Malheureusement, ces eaux sont fortement chargées en *Escherichia. coli*, *Salmonella* et *Shigella*, coliformes totaux, *Pseudomonas aeruginosa*, germes totaux, staphylocoques, levures et moisissures. Elles sont impropres à la consommation humaine et doivent subir quelques traitements préliminaires comme la correction du pH à la chaux et la désinfection à l'hypochlorite de sodium.

Mots-clés: Evaluation, qualité physico-chimique, qualité microbiologique, eaux de puits, Kombé, Brazzaville

Evaluation of Physicochemical and Microbiological Quality of Well Waters Consumed in the Kombé District of Brazzaville

Tchoumou Martin, Maître de Conférences

Louzeyadio Mvouezolo Raison Félicien, Maître-Assistant

Malera Kombo Merci Adonäi, Doctorant

Moussoki Nsona Promesse, Doctorante

Ouamba Jean-Maurille, Professeur Emérite

Unité de Chimie du Végétal et de la Vie, Faculté des Sciences et Techniques,
Université Marien NGOUABI, Brazzaville, Congo

Abstract

Naturally, groundwater is generally drinkable and should be consumed without any prior treatment. Unfortunately, these waters are currently subject to strong anthropogenic pressure. This study aims to evaluate the physicochemical and microbiological quality of well water consumed in the Kombé district of Brazzaville. Four wells were identified and characterized. The characterization showed three wells equipped with the same protection and water rise systems and only one sampling point differed from the others by the water rise system. Thirty-three physicochemical parameters and nine microbiological parameters were evaluated using standardized and referenced methods. The results obtained reveal from the physicochemical point of view that the well water studied is poorly mineralized and all the physicochemical parameters meet WHO standards, except pH, the concentration of cadmium, chromium, phosphate ions as well as than silica in certain cases. Only one chemical family is highlighted: sodium and potassium chloride waters. Unfortunately, these waters are heavily loaded with *Escherichia. coli*, *Salmonella* and *Shigella*, total coliforms, *Pseudomonas aeruginosa*, total germs, staphylococci, yeasts and molds. They are unfit for human consumption and must undergo some preliminary treatments such as pH

correction with lime and disinfection with sodium hypochlorite.

Keywords: Evaluation, physico-chemical quality, microbiological quality, well water, Kombé, Brazzaville

1. Introduction

L'eau constitue un élément important dans la ration alimentaire de l'homme et dans les nombreuses activités dictées par les conditions de vie. La quantité tout comme la qualité de l'eau est un des indicateurs à considérer dans l'appréciation du niveau de satisfaction de l'homme en matière d'eau (Toponi, 2013). Disposer d'une eau de bonne qualité améliore considérablement la santé humaine. Elle apporte à l'organisme des éléments dont il a besoin pour bien fonctionner (Chouti, 2007). Adopté en 2003, le « Code de l'eau » est le principal document de la stratégie nationale en matière d'eau. Ce code est complété par des textes législatifs portant notamment sur le transfert de compétences de l'État aux collectivités locales et sur la détermination du patrimoine des collectivités. À Brazzaville, tous les ménages ne sont pas abonnés à La Congolaise Des Eaux (LCDE). Ce qui pousse certains habitants de certains quartiers, comme Kombé, à consommer les eaux de puits. En effet, dans l'arrondissement 8 Madibou situé au sud de Brazzaville, la population de Kombé n'a toujours pas accès à l'eau potable de la LCDE. Pour pallier à ce problème, elle est obligée de consommer les eaux souterraines, notamment celles de puits et de certaines sources de fortune (Louzayadio Mvouezolo, 2019). Une situation plus incompréhensible, car ce quartier est longé par le fleuve Congo, le deuxième fleuve le plus puissant du monde par son débit, après l'Amazon (Fquyau, 1989 ; Laraque *et al.*, 1996). Avec une population estimée à plus de 20000 habitants (Médecine d'Afrique, 2015), dans le quartier Kombé, presque tous les ménages ont un puits creusé dans leur propriété. Ceci montre à quel point les habitants de ce quartier consomment les eaux de puits qui ne sont pas exemptes de contamination microbiologique et physico-chimique pour la plupart. Ainsi, l'objectif de ce travail est d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits consommées dans le quartier Kombé à Brazzaville.

2. Matériels et méthodes

2.1. Présentation de la zone d'étude

Brazzaville est située sur la rive droite du fleuve Congo, elle s'étend environ sur 30 kilomètres avec une altitude de 335 mètres, entre 4°13 et 4°18 de latitude Sud et entre 15°13 et 15°18 de longitude Est (Koua *et al.*, 2011 ; Vennetier, 1966). Administrativement, elle est découpée en neuf (09) arrondissements à savoir : Makélékélé, Bacongo, Poto-poto, Moundali, Ouenzé, Talangaï, M'filou, Madibou et Djiri. Dans le cadre de cette présente

étude, elle a été réalisée dans l'arrondissement Madibou, quartier Kombé (Figure 1).

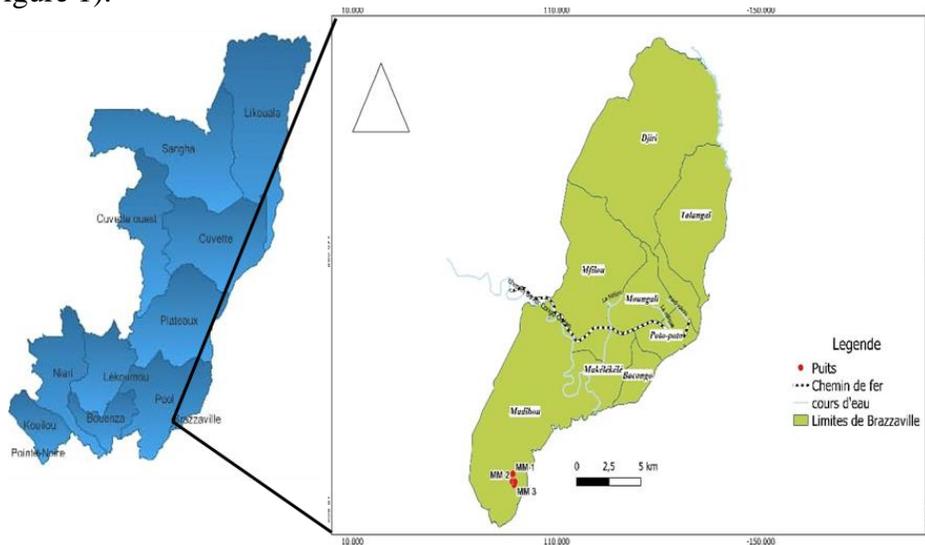


Figure 1. Localisation de la zone d'étude

2.2. Méthodes d'enquêtes

Les enquêtes ont été menées auprès des populations utilisatrices des eaux de puits. Elles ont été réalisées sur la base d'un questionnaire et des observations, en vue de l'identification et la caractérisation des différents sites de prélèvement.

2.3. Prélèvements des échantillons

Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques ont été prélevés dans des bouteilles en Polyéthylène Téréphtalate (PET) de la société l'Industrie de Transformation et d'Emballage (ITE) de Brazzaville, propres, de 1,5 L à l'aide d'un seau lesté, et ceux destinés aux analyses microbiologiques ont été prélevés dans des flacons stériles à usage unique, de 100 mL, délivrés par l'ITE de Brazzaville. Les échantillons des différents prélèvements ont été transportés au laboratoire de l'ITE le même jour pour être analysés. Au total, trois (03) campagnes de prélèvement ont été réalisées en février 2021 qui correspond à la petite saison sèche.

2.4. Méthodes d'analyses physico-chimiques

Les différentes analyses ont été réalisées au laboratoire de l'Industrie de Transformation et d'Emballage de Brazzaville. Trente-trois (33) paramètres physico-chimiques ont été analysés. Le tableau 1 résume les différentes méthodes et les équipements utilisés.

Tableau 1. Méthodes et équipements utilisés

Paramètres physico-chimiques	Références de la méthode	Equipements
Aspect et Odeur	-	Organes de sens
pH et potentiel redox	NF T 90-008 (53)	Multi-paramètre ADWA AD12/131/8000
EC et TDS	NF EN 27888 (94)	Multi-paramètres ADWA AD/8000
Turbidité, TAC, HCO_3^- , NH_4^+ , Cd^{2+} , Cl^- , Cr^{3+} , Cu^{2+} , F^- , Fe, Pb^{2+} , Mn^{2+} , Hg^{2+} , Ni^{2+} , NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , K^+ , SiO_2 , SO_4^{2-} et Zn^{2+} , Cl_2 total	Méthode spectrophotométrique	Spectrophotomètre La Motte 2000-02 Smart Spectro 2
THT, Ca^{2+} et Mg^{2+}	NF T 90-003 (84)	Kit dureté totale, calcique et magnésique LaMotte CODE 4824-LT-02
Na^+	Sodium calculator	Ordinateur

EC : Conductivité électrique ; pH : Potentiel d'hydrogène ; TDS : Sels totaux dissous ; TAC : Titre alcalimétrique complet ; THT : Titre hydrotimétrique

2.5. Méthodes d'analyses microbiologiques

Les analyses ont été réalisées en utilisant la méthode de dénombrement en milieu solide, précisément la technique de filtration sur membrane. La méthode consiste à faire passer 100 mL d'un échantillon d'eau à travers une membrane cellulosique ayant des pores de diamètre uniforme égale à 0,45 µm. Après filtration, cette membrane est déposée dans la boîte de pétri contenant le milieu de culture solide et incubée à une température appropriée. Les germes totaux ont été évalués dans 1 mL d'échantillon brut et/ou dilué par la méthode d'ensemencement en profondeur. Le tableau 2 donne les paramètres microbiologiques déterminés et les méthodes analytiques utilisées.

Tableau 2. Méthodes d'analyses microbiologiques

Paramètres microbiologiques	Références de la méthode	Milieus de culture	Température (°C) et temps d'incubation
<i>Escherichia. coli</i> (<i>E. coli</i>)	NF ISO 9308-2	<i>MacConkey Agar No.3</i>	35-37 (24-48h)
Coliformes totaux (CT)	NF ISO 9308-1		
<i>Salmonella Shigella</i> (SS)	NF ISO 6579	<i>Salmonella Shigella</i> (SS) Agar, Modified	
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (PA)	NF ISO 16266-2	<i>Pseudomonas</i> Isolation Agar Base	30-37 (24-48h)
Germes Totaux (GT)	NF ISO 9308-2	Plate Count Agar	35-37 (24-48h)
Staphylocoques (Sta)	NF EN ISO 6888-1	Mannitol Salt Agar	35-37 (24-48h)
Levures / Moisissures (LM)	NF ISO 21527-1	M-Green Agar	25 (72h)

2.6. Traitement des données hydrochimiques

La fiabilité des analyses chimiques a été vérifiée par le calcul de l'erreur relative sur la balance ionique qui s'exprime en % selon l'équation (1) décrite par (Appelo *et al.*, 2005) :

$$BI = \frac{\sum \text{cations} - \sum \text{anions}}{\sum \text{cations} + \sum \text{anions}} \times 100 \quad (1)$$

Une analyse chimique des eaux est considérée représentative et acceptable que lorsque la balance ionique est inférieure ou égale à 10 %. La classification hydrochimique a été faite à l'aide du logiciel Diagramme (Version 6.72 du 04/03/2021), développé par Roland Simler, Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon.

3. Resultats et discussion

3.1. Résultats

3.1.1. Enquêtes

Les résultats des différentes enquêtes menées sont consignés dans les tableaux 3 et 4. Il en ressort que tous les puits investigués ont une profondeur de plus de 15 m et sont équipés de margelle, de dalle en ciment, de trappe de fermeture en fer, exempts de cuvelage. Le système de protection au niveau de chaque puits est défaillant. Ces puits sont exempts de système de drainage (Tableau 3).

La remontée d'eau, pour l'ensemble des points d'eau, est faite avec un seau lesté (Tableau 3). Ce qui est pénible pour les gens, car ils doivent fournir plus d'efforts pour remonter l'eau. Seul le puits MM2 est équipé d'une poulie pour la remontée d'eau. Tous les puits investigués ne respectent pas la distance requise, de plus 15 m, entre le puits et la latrine la plus proche (WHO, 2011). En effet, deux puits sont situés à une distance comprise entre 5 et 10 m et deux autres à une distance comprise entre 10 et 15 m (Tableau 4).

Tableau 3. Caractéristiques des puits investigués

Puits	Margelles	Accessoires de remontée d'eau	Profondeurs	Cuvelages	Couvertures du puits	Trappes de fermeture
MM1	0,60 m	Seau lesté	Plus de 15 m	Sans cuvelage	Dalle en ciment	En fer
MM2	0,50 m	Seau lesté, lié à une poulie				
MM3	0,50 m	Seau lesté				
MM4	0,50 m	Seau lesté				

Tableau 4. Distance entre le puits et la latrine la plus proche

Distances (m)	Puits (Codes)	Pourcentage (%)	Type de latrines
[5-10]	MM2 et MM4	50	Puits perdus avec cuvelage en tonneau
[10-15]	MM1 et MM3	50	
Plus de 15	-	-	

3.1.2. Evaluation de la qualité physico-chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques sont consignés dans le tableau 5.

➤ Paramètres organoleptiques et physiques

Le tableau 5 montre que les eaux sont acides, avec des valeurs moyennes de pH de 5,75, 5,90, 6,12 et 6,40 respectivement dans les points de prélèvement MM1, MM2, MM3 et MM4. Les observations sur l'aspect physique révèlent des eaux très "claires" et sans odeur. Les valeurs moyennes du potentiel redox et de la turbidité varient, respectivement, entre 122,40 et 137,53 mV et, entre 0,00 et 1,00 NTU. Les valeurs moyennes des TDS et de la conductivité électrique sont comprises entre 24,9 et 58,57 mg/L et, entre 49,80 et 117,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces faibles valeurs indiquent que ces eaux sont de faible minéralisation.

➤ Fiabilité des résultats

Les erreurs relatives sur la balance ionique des différentes eaux de puits étudiées sont représentées dans le tableau 7. Il ressort que les erreurs relatives sur la balance ionique des différentes eaux de puits étudiées sont inférieures 5 %, ceci montre que les analyses effectuées sont de bonne qualité et que les résultats obtenus peuvent être traités sans restriction.

Tableau 7. Erreurs relatives sur la Balance Ionique des eaux de puits étudiées

Ouvrages étudiés	Σ Cations (méq/L)	Σ Anions (méq/L)	BI (%)
MM1	1,3422	1,3322	0,37
MM2	1,1445	1,1430	0,07
MM3	1,5640	1,6352	2,23
MM4	0,7775	0,7776	0,01

Σ : somme ; BI : balance ionique

➤ Paramètres chimiques

Les valeurs moyennes du TAC et du THT sont très faibles et oscillent respectivement entre 7,67 et 28 mg/L et, entre 3 et 5 mg/L. Les eaux étudiées sont donc très douces (THT < 500 mg/L). Les teneurs moyennes en cations majeurs sont très faibles. Elles varient de 0,2 à 1,73 mg/L pour les ions calcium, de 0,16 à 0,60 mg/L pour les ions magnésium, de 0,63 à 3,27 mg/L pour les ions potassium et de 15,56 à 31,74 mg/L pour les ions sodium. Les faibles teneurs des ions calcium et magnésium dans ces eaux confirment le caractère très doux de ces eaux.

Tout comme les cations, les teneurs moyennes en anions sont faibles. Elles sont comprises entre 4,03 et 10,3 ; 9,58 et 38,74 ; 3 et 6,67 et entre 21,33 et 46 mg/L respectivement pour les ions chlorures, bicarbonates, sulfates et les ions nitrates. Le chlore total, le cuivre, les fluorures, le manganèse, le zinc, l'ammonium, les nitrites, le fer total, le plomb, le mercure et le nickel présentent des valeurs moyennes en-dessous des valeurs guides préconisées par l'OMS (OMS, 2017). Le cadmium, le chrome, les phosphates ainsi que la silice présentent des teneurs moyennes oscillant respectivement entre 0,04 et 0,015 ; 0,02 et 0,28 ; 0,02 et 11,93 et entre 7,67 et 15,67 mg/L. L'eau du puits MM1 présente la teneur moyenne la plus importante en phosphates, celle du puits MM2 en chrome et celle du puits MM3 en silice.

Tableau 5. Valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques des eaux de puits étudiées

Paramètres	Unités	MM1	MM2	MM3	MM4	Normes OMS
Température	°C	25	25	25	25	12-30
Aspect	-	Claire	Claire	Claire	Claire	Claire
Turbidité	NTU	0,63	1	0,37	0	≤ 5
Odeur	-	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
pH	-	5,75	5,90	6,12	6,40	6,5-8,5
Potentiel redox	mV	127,9	137,53	129,40	122,40	≤ 250
TDS	mg/L	58,57	41,10	51,60	24,90	≤ 250
CE	µS/cm	117,1	82,20	103,13	49,80	≤ 500
TAC	mg/L	7,67	28,00	27,67	12,00	≤ 500
Bicarbonate	mg/L	9,58	34,14	38,74	14,63	≤ 500
THT	mg/L	4,67	3,00	5,00	3,00	≤ 500
Calcium	mg/L	1,73	0,40	1,07	0,20	≤ 70
Magnesium	mg/L	0,16	0,48	0,56	0,60	≤ 50
Ammonium	mg/L	0,19	0,23	0,23	0,13	≤ 1,5
Cadmium	mg/L	0,04	0,07	0,15	0,12	≤ 0,003
Chlorure	mg/L	10,3	4,49	8,5	4,03	≤ 250
Chlore Total	mg/L	0,46	0,07	0,09	0,06	≤ 0,5
Chrome total	mg/L	0,02	0,28	0,02	0,03	≤ 0,05
Cuivre	mg/L	0,26	0,00	0,01	0,00	≤ 2
Fluore	mg/L	0,13	0,01	0,01	0,00	≤ 1,5
Fer Total	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	≤ 0,3
Plomb	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	≤ 0,01
Manganese	mg/L	0,01	0,00	0,23	0,00	≤ 0,4
Mercure	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	≤ 0,006
Nickel	mg/L	0,00	0,00	0,00	0,00	≤ 0,07
Nitrate	mg/L	46,00	21,33	38,33	22,33	≤ 50
Nitrite	mg/L	0,17	0,11	0,10	0,08	≤ 0,5
Phosphate	mg/L	11,93	1,47	0,54	0,02	≤ 5
Potassium	mg/L	3,23	0,63	3,27	1,60	≤ 250
Silice	mg/L	7,67	10	15,67	9,67	≤ 12
Sodium	mg/L	26,67	24,57	31,74	15,56	≤ 200
Sulfate	mg/L	6,67	5,33	6,67	3,00	≤ 500
Zinc	mg/L	0,00	0,00	0,01	0,00	≤ 3

EC : Conductivité électrique ; pH : potentiel d'hydrogène ; TDS : Sels totaux dissous ; TAC : Titre alcalimétrique complet ; THT : Titre hydrotimétrique

➤ **Faciès hydrochimiques**

Le diagramme de Piper des eaux de puits étudiées présente un chimisme caractérisé par un seul faciès global : chlorurée sodique et potassique. Ce qui implique que les ions sodium, potassium et chlorures sont dominants des quatre (04) points d'eaux (Figure 2).

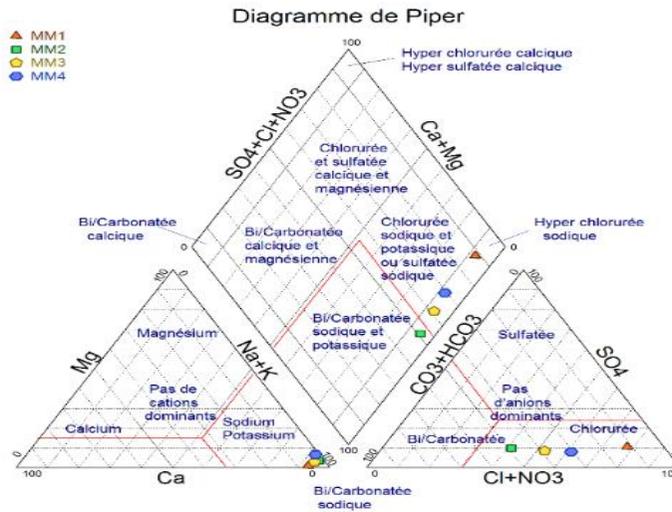


Figure 2. Diagramme de Piper des eaux de puits du quartier Kombé

3.1. 3. Evaluation de la qualité microbiologique

Le tableau 6 présente les résultats des analyses microbiologiques des eaux étudiées. Il ressort de ce tableau que toutes les eaux de puits sont contaminées par les *E. coli*, *Salmonella* et *Shigella* (SS), Coliformes totaux (CT), *Pseudomonas aeruginosa* (PA), Germes totaux (GT), Staphylocoques (Sta) et, levures et moisissures (LM) et, sont impropres à la consommation humaine. Toutes les valeurs obtenues sont supérieures aux valeurs guides OMS (OMS, 2017).

Tableau 6. Résultats des analyses microbiologiques des eaux de puits étudiées

Paramètres Code échantillon	E. Coli	SS	CT	PA	GT	Sta	LM
MM1	8	61	>100	73	>100	57	Présence
MM2	6	11	55	29	>100	2	Présence
MM3	39	>100	>100	46	>100	42	Présence

MM4	>100	>100	>100	>100	>100	41	Présence
Nomes OMS	0 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	100 UFC/100 mL	0 UFC/100 mL	Présence/Absence

E. Coli : *Escherichia coli* ; SS : *Salmonella et Shigella* ;

3.2. Discussion

Les enquêtes montrent une mauvaise gestion des puits et l'absence de couvage pourrait accentuer les risques de contamination des eaux (WHO, 2006). Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de puits du quartier Kombé montrent que ces eaux sont acides et très agressives pour l'estomac, avec des valeurs moyennes de pH comprises entre 5,75 et 6,40. Signalons qu'en dessous de 6,5, l'eau est corrosive et au-dessus de 8,5, il pourrait y avoir risque d'entartrage. Cette acidité peut être responsable de la formation des acides trichloracétiques (HAAs) (Reckhow et Singer, (1985) lors de la désinfection par chloration.

Les caractères acides et agressifs des eaux souterraines de la ville de Brazzaville avaient déjà été signalés par Barhé *et al.*, (2013), par Makomo *et al.*, (2018), par Louzayadio Mvouezolo, (2019), par Essouli *et al.*, (2020) et par Ngouala Mabonzo *et al.*, (2020). Cette acidité peut être liée à la solubilité de la silice ou aux réactions secondaires d'oxydation des composés organiques et de précipitation d'hydroxydes ferriques très présent dans ce milieu ferrallitique essentiellement siliceux (Boeglin, 2008 ; Audri, 2008). Mais aussi en zone tropicale humide, l'acidité des eaux souterraines proviendrait principalement de la décomposition de la matière organique végétale, avec la production de CO_2 dans les premières couches du sol. La présence dans l'eau de CO_2 provenant des sols faciliterait l'hydrolyse des minéraux silicatés et la formation des ions HCO_3^- (Allassan, 1994 ; Rodier *et al.*, 2009).

Les valeurs moyennes de la turbidité sont très inférieures à la valeur maximale tolérée par l'OMS (≤ 5 NTU). Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Gbohaida *et al.*, (2016), dans leur étude menée sur la qualité physico-chimique de l'eau de boisson dans deux localités du Bénin et, sont aussi proches de ceux obtenus par Badadjide *et al.*, (2011). Les valeurs moyennes du TDS et de la conductivité électrique obtenus, pour l'ensemble des points d'eau, varient entre 24,9 et 58,57 mg/L et, entre 49,8 et 117,1 $\mu S/cm$. Les valeurs de la conductivité électrique obtenues sont semblables à celles obtenues par Louzayadio Mvouezolo, (2019). Ces faibles valeurs de la conductivité électrique indiquent que ces eaux sont faiblement minéralisées. La faible minéralisation des eaux souterraines de la ville de Brazzaville avait déjà été révélée par Makomo *et al.*, (2019), et par Matini *et al.*, (2009).

Les paramètres chimiques comme le TAC, les bicarbonates, le THT, le calcium, le magnésium, les chlorures, le Chlore Total, le cuivre, les fluorures, le manganèse, les sulfates, le zinc, le sodium, le potassium, l'ammonium, les nitrates, les nitrites, le fer total, le plomb, le mercure et le nickel présentent des valeurs moyennes inférieures à celles préconisées par l'OMS pour l'eau de boisson. Les valeurs moyennes des ions cadmium sont supérieures à la valeur maximale tolérée par l'OMS ($< 0,003$ mg/L), pour l'ensemble des points d'eau. Cela pourrait être expliqué par la lithologie du sol et par l'intensification des activités maraichères dans la zone d'étude (Moulemvo, 2006 ; Moustier *et al.*, 2022). Les éléments chrome, silice et phosphates se distinguent également des autres, car ils montrent des valeurs moyennes supérieures aux valeurs guides OMS dans certaines eaux étudiées, il s'agit : des puits MM1 ($PO_4^{3-} > 5$ mg/L), puits MM2 ($Cr^{3+} > 0,05$ mg/L) et puits MM3 ($SiO_2 > 12$ mg/L).

Ainsi, les paramètres les plus déclassant pour l'usage eau de boisson sont le pH et le Cadmium, pour lesquels 100 % des points d'eau analysés ont des teneurs moyennes hors normes.

Le faciès chloruré sodique et potassique des eaux souterraines du quartier Kombé avait été déjà observé par Moukolo, (1984) et Louzayadio Mvouezolo, (2019).

Les résultats microbiologiques montrent que toutes les eaux de puits étudiées sont contaminées par les *E. coli*, *Salmonella* et *Shigella*, coliformes totaux, *Pseudomonas aeruginosa*, Germes totaux, staphylocoques et levures et moisissures et qu'elles sont impropres à la consommation humaine par comparaison aux valeurs guides de l'OMS. Cependant, les charges bactériennes les plus élevées sont observées pour les germes totaux (GT) et les coliformes totaux (CT) sur les quatre (04) points de prélèvement retenus. La présence d'*E. coli* dans les eaux analysées indique une contamination récente par des matières fécales.

La présence d'une grande densité bactérienne dans ces eaux pourrait s'expliquer par le fait que tous les puits ne respectent pas la distance requise de plus 15 m, entre le puits et la latrine la plus proche, ainsi que par l'absence de cuvelage, qui accentuent fortement les risques de contamination des points d'eau. Une désinfection est nécessaire avant toute utilisation. Ces résultats corroborent avec ceux obtenus par Louzayadio Mvouezolo, (2019) et Louzayadio Mvouezolo *et al.*, (2021) sur les eaux souterraines du quartier Kombé.

Conclusion

Ce travail a permis d'évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des eaux de puits consommées dans le quartier Kombé à Brazzaville. Des quatre puits étudiés, trois (03) sont dotés des mêmes systèmes

de protection et de remontée d'eau. Les eaux souterraines de quartier Kombé sont acides avec des valeurs de pH comprises entre 5,75 et 6,40. Hormis le pH, le cadmium, le chrome, les phosphates et la silice, tous les autres paramètres correspondent aux normes de l'OMS et les eaux étudiées sont faiblement minéralisées. Un seul type de faciès chimique caractérise ces eaux : les eaux chlorurées sodique et potassique. Sur le plan microbiologique, ces eaux contiennent des fortes charges en *E. coli*, *Salmonella* et *Shigella*, coliformes totaux, *Pseudomonas aeruginosa*, germes totaux, staphylocoques et levures et moisissures et sont impropres à la consommation humaine. Une désinfection à l'hypochlorite de sodium ou de calcium est requise avant toute consommation.

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

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

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Allassan, B.-M., 1994. Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrine en Afrique Subtropicale. Thèse de Doctorat n°1276, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse, 251p.
2. Appelo C.A.J. & Postma D., 2005. Geochemistry, groundwater and pollution. Amsterdam, 2nd edition, AA Bakelma, 647 p.
3. Audri, S., 2008. Polymetallic pollution in fluvial environments: Environmental impact of metals derived from mining activities (Example of the Lot-Garonne system, France). Scientific Seminar, Summer School, July 1 to 3, 2008. Marien Ngouabi University, Faculty of Sciences, Brazzaville - Congo.
4. Badadjide, C., Vissin E., Ouassa K. et Adekambi, A., 2011. Qualité d'eau consommée par la population et les maladies hydriques dans la commune de Kétou (Bénin), Université d'Abomey-Calavi, XXVI^{ème} colloque de l'Association Internationale de climatologie, p. 81-86.
5. Barhe, A. et Bouaka F., 2013. Caractérisation Physicochimique et Chloration des Eaux de Puits Consommées dans la Ville de Brazzaville-Congo. J. Mater. Environ. Sci. 4(5) : p.605-612.
6. Boeglin, J.L., 2008. General information on water chemistry. Scientific seminar, Summer school. Marien Ngouabi University, Faculty of Sciences, Brazzaville - Congo.

7. Chouti, W. K., 2007. Evaluation de la qualité des eaux de puits couverts munis de pompe dans la commune de Porto-Novo (Mémoire de Master). Repéré à <https://www.memoireonline.com///10/10/3944/Evaluation-de-la-qualite-des-eaux-des-puits-couverts-munis-de-pompe-dans-la-commune-de-Porto-Novo.html>. doi: 10.11648/j.ijema.20210905.16
8. Essouli, O. F., Miyouna, T., Essouli Kessimpou, P., Boudzoumou, F., Matini, L. et Faye, S., 2020. Hydrochimie des eaux de surface et souterraines de la partie nord de Brazzaville : origine et processus de minéralisation. Revue RAMReS - Sci. Appl. & de l'Ing., Vol.2(1). 1-15 p.
9. Fquyau B.1989. Hydrologie des grands fleuves du Congo, ORSTOM, Brazzaville, 7p.
10. Gbohaida, V., Agbangnan, D.C.P., Ngossanga, M.B., Medoatinsa, S. E., Dovonon, L. F. C., Wotto, D. V., Avlessi, F. et Sohounhloue, D. C. K., 2016. Etude de la qualité physico-chimique de l'eau de boisson dans deux localités du Bénin : Cotonou et Dassa-Zoumè. Int. J. Biol. Chem. Sci. 10(1) : 422-434 p.
11. Koua O.J. & Nzaou S., 2011. Perspective de la population congolaise de 2007 à 2020, CNSEE, 11 p.
12. Laraque A. & Olivry J. C. 1996. Evolution de l'hydrologie du Congo-Zaïre et de ses affluents rive droite et dynamique des transports solides et dissous, l'hydrologie tropicale : géoscience et outil pour le développement (Actes de la conférence de Paris, mai 1995), IAHS Pub.no.238, 271-288.
13. Louzayadio Mvouezolo R. F., 2019. Qualité des eaux consommées par les populations de la Ville de Brazzaville, Mémoire de doctorat unique, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Ngouabi, Brazzaville, 198 p.
14. Louzayadio Mvouezolo R.F., Ayessou N., Nkounkou Loumpangou C., Tchoumou M., Mar Diop C.G. and Ouamba J-M., 2021. Vulnerability to Microbiological Pollution of Tap Water and Groundwater Consumed in the Southern Zone of the City of Brazzaville (Republic of the Congo). *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 9(5), 152-161.
15. Makomo, H., Ntalani, H., Dissima, M-EL., Bouaka, F. et Ouamba, J-M., 2019. Caractérisation physico-chimique et étude sur la mise en équilibre calco-carbonique des eaux de trois forages de la ville de Brazzaville, Congo. *Afrique SCIENCE* 15 (5) : 101-115 p.
16. Matini, L., Moutou, J. M. et Kongo-Mantono, M. S., 2009. Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-ouest de Brazzaville. *Afrique SCIENCE* 05 (1) : 82-98 p.

17. Moukolo N., 1984. Ressources en eau souterraine et approvisionnement. Essai d'analyse socio-économique en région équatoriale humide (régions de Brazzaville et Pointe-Noire, Congo). Thèse de doctorat du 3 cycle, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, 201 p.
18. Moulemvo A. 2006. Agriculture urbaine et développement durable : le cas des exploitants de la ceinture maraîchère de Brazzaville, *Revue Organisations & territoires*, 15 (01) : 31-39.
19. Moustier P., Ofouémé-Berton Y. et Milongo F. 2022. Approvisionnement de Brazzaville en légumes : premiers éléments, *agritrop.cirad.fr*, 21p.
20. Ngouala Mabonzo, M., Mbilou, U. G. et Koussoube, Y., 2020. Hydrochimie des eaux souterraines du bassin versant de la Loua au Sud de Brazzaville, Congo. *Am. J. Innov. res. appl. sci* ; 11(5) : 120-128 p.
21. Organisation mondiale de la santé (OMS). 2017. Directives de qualité pour l'eau de boisson, 4^{ème} édition intégrant le premier additif, Genève, 564p.
22. Reckhow, D. A. et Singer, P. C., 1985. Eds. Jolley R. I., Jacob V. A., vol. 5, Chelsea, MI. Chapter 96.
23. Rodier J., Merlet N. & Legube B., 2009. Analyse de l'eau. Paris, 9^{ème} édition, Dunod, 1579 p.
24. Toponi. 2013. Contribution à l'étude bactériologique de l'eau de boisson vendue en sachet au marché central de la ville de Kisangani, Mémoire inédit, Faculté de Médecine, UNIKIS, 32 p.
25. Vennetier P., 1966. Géographie du Congo Brazzaville, enseignement supérieure en Afrique Centrale, Gautier-Villas- Paris, 174 p.
26. World Health Organization (WHO). 2006. Protecting Groundwater for Health, managing the quality of drinking-water sources, London, 689p.
27. World Health Organization (WHO). 2011. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. Geneva, Switzerland, 564 p