



Caractérisation physico-chimique et bactériologique de l'eau de puits du Fokontany Ambohibory Soatsihadino, région Haute Matsiatra, Madagascar.

Andry Harinaina Rabearisoa^{1,5*}, Voary Hanitra Narindrarisoa², Bruno Razanamparany⁴, Bertrand Manjolongo², Sandra Tolojanahary Fidiarilanto²

¹École Normale Supérieure, Université d'Andrainjato Fianarantsoa, BP : 1264 Fianarantsoa (301)

²Domaine Sciences et Technologie, Mention Physique Chimie, École Normale Supérieure, Université de Fianarantsoa, BP : 1264 Fianarantsoa (301)

³Ingénierie en sciences et technique de l'eau, Université d'Antananarivo, Madagascar

⁴Laboratoire de chimie de la Faculté des sciences, Université d'Antananarivo, Madagascar

⁵Laboratoire de chimie de la Faculté des sciences, Université de Fianarantsoa, Madagascar

*Auteur correspondant, E-mail : rabearisoa2@yahoo.com

Submission 16th October 2023. Published online at <https://www.m.elsevier.com/Journals/> on 30th November 2023. <https://doi.org/10.35759/JABs.191.8>

RÉSUMÉ

Objectif : Évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de puits, consommée par la population d'Ambohibory, constitue l'objectif de cette étude.

Méthodologie et résultats : Une étude sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de puits au sein du Fokontany Ambohibory Soatsihadino à Fianarantsoa, Madagascar, a été réalisée en mars 2023, marquant la fin de la saison des pluies dans la région. Les résultats obtenus révèlent une acidité de l'eau, indiquée par un pH moyen de 5.67 ± 0.4 , nettement en deçà des recommandations de l'OMS qui préconisent un pH compris entre 6,5 et 8,5. De plus, une faible minéralisation est observée, accompagnée d'une contamination organique. Les analyses signalent la présence de coliformes totaux et de streptocoques fécaux (entérocoques), dont l'absence est exigée selon les normes en vigueur pour chaque échantillon de 100 ml d'eau. Par ailleurs, l'analyse en composante principale a permis d'établir des corrélations entre les divers paramètres étudiés, mettant en évidence une typologie principalement influencée par une forte corrélation entre la conductivité électrique de l'eau et les germes de contamination fécale.

Conclusion et applications des résultats : Les eaux de puits de la zone étudiée sont soumises à une pollution organique indiquant ainsi une eau impropre à la consommation humaine. Cette pollution d'origine anthropique peut être attribuée à différentes causes tel le défaut d'assainissement, les rejets domestiques, les conditions de puisage et structure d'installation des puits, la pratique d'élevages porcins et bovins ainsi que la présence de latrines à proximité. Les consommateurs sont exposés à divers risques sanitaires en raison de la qualité de ces eaux. Afin de garantir la sécurité, des actions de traitement sont nécessaires, telles que la chloration pour éliminer les germes fécaux en raison de la légère turbidité de l'eau (inférieure à 5 NTU). Parallèlement, des mesures de traitement physico-chimique, comme l'utilisation de coagulants tels que la chaux vive et le sulfate d'alumine, doivent être mises en œuvre en amont.

Mots-clefs : Eau souterraine, puits, analyse physico-chimique et bactériologique, contamination fécale, Madagascar.

Physicochemical and bacteriological characterization of well water of the Fokontany Ambohibory Soatsihadino, Matsiatra High region, Madagascar.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the physicochemical and bacteriological quality of well water, consumed by the population of Ambohibory, constitutes the objective of this study.

Methodology and results: A study on the physicochemical and bacteriological quality of well water within the Fokontany Ambohibory Soatsihadino in Fianarantsoa, Madagascar, was carried out in March 2023, marking the end of the rainy season in the region. The results obtained reveal an acidity of the water, indicated by an average pH of 5.67 ± 0.4 , significantly below the WHO recommendations which recommend a pH of between 6.5 and 8.5. In addition, weak mineralization is observed, accompanied by organic contamination. The analyses indicate the presence of total coliforms and faecal streptococci (enterococci), the absence of which is required according to the standards in force for each sample of 100 ml of water. Furthermore, the principal component analysis made it possible to establish correlations between the various parameters studied, highlighting a typology mainly influenced by a strong correlation between the electrical conductivity of the water and the germs of faecal contamination.

Conclusion and applications of the results: Well water in the studied area is subject to organic pollution, indicating water unfit for human consumption. This pollution of anthropogenic origin can be attributed to different causes such as the lack of sanitation, domestic discharges, the conditions of drawing and installation structure of wells, the practice of pig and cattle breeding as well as the presence of latrines in proximity. Consumers are exposed to various health risks due to the quality of this water. To ensure safety, treatment actions are necessary, such as chlorination to eliminate faecal germs due to the slight turbidity of the water (less than 5 NTU). At the same time, physicochemical treatment measures, such as the use of coagulants such as quicklime and alumina sulphate, must be implemented upstream.

Keywords: Groundwater, wells, physicochemical and bacteriological analysis, faecal contamination, Madagascar.

INTRODUCTION

L'eau constitue une ressource naturelle tant indispensable que vitale pour la vie humaine ainsi que pour la biodiversité. Toutefois, un majeur défi sur l'adduction en eau potable, l'assainissement et l'hygiène demeure, toujours, au centre de l'attention au niveau de l'international. En effet, une personne sur quatre, soit deux milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable (OMS/UNICEF, 2021); 13 pays de l'Afrique, y compris Madagascar, connaissent une souffrance en termes de gravité d'insécurité hydrique. (Alister, 2023). En effet, selon le rapport de la MICS (Multiple Indicator Cluster Survey), environ 41% de la population malgache ont accès à un service de base en matière d'eau en tant que boisson de base en 2018, dont 57% n'ont pas accès à une source d'eau améliorée. Quatre personnes sur cinq n'ont pas accès à un service d'assainissement de base adéquat dont

deux, en particulier, pratiquent la défécation en plein air à laquelle s'ajoute un taux de quatre personnes sur cinq buvant de l'eau contaminée par une présence des *E. coli*. (INSTAT Madagascar, 2018). Généralement, la ville de Fianarantsoa est, hydrologiquement, bien ressourcee (CREAM, 2011); néanmoins, le réseau d'eau potable distribué par la JIRAMA (société publique responsable de la production, du traitement et de la distribution d'eau de consommation ainsi que de l'apport en électricité dans le pays) ne couvre pas la totalité des ménages vu un service considéré comme très coûteux pour une adduction d'eau potable. Ainsi, la majorité de la population malgache fait recours à divers moyens pour leur ressource en eau tels les bornes fontaines publics, les puits traditionnels et les différentes autres ressources hydriques. Pour la population du Fokontany Ambohibory

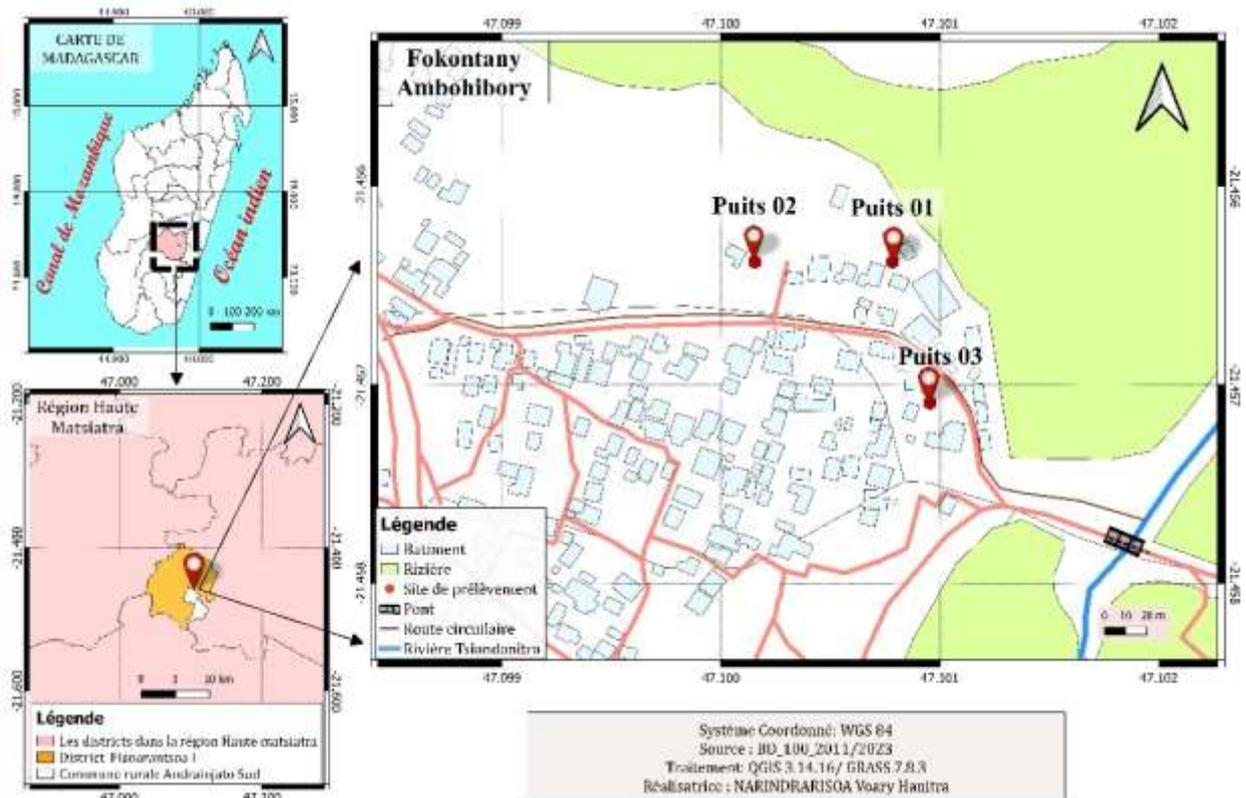
Soatsihadino, les eaux de puits constituent les principales majorités en ressources en eau nécessaire à leur besoin quotidien bien qu'aucune étude approfondie sur leurs qualités n'ait guère été faite jusqu'à ce jour. Dans cette

perspective, il est nécessaire de faire une étude descriptive de l'eau de puits de ce Fokontany afin d'en évaluer leur qualité physico-chimique et bactériologique.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zone d'étude: Le Fokontany Ambohibory Soatsihadino est l'une des subdivisions administratives au niveau du district Fianarantsoa I, Commune rurale d'Andrainjato Sud, de la région Haute Matsiatra. Sur sa petite superficie, il abrite 120 ménages dont des étudiants universitaires constituent la grande majorité de sa population. En raison de son altitude élevée, le climat dans cette région diffère des zones côtières et des plaines environnantes. Ambohibory bénéficie d'un climat tempéré avec des températures relativement modérées tout au long de l'année avec une température moyenne de 14,6° C. La région reçoit une

quantité considérable de pluies avec un précipitation de 1 000 à 1 200 mm/an, principalement pendant la saison des pluies, s'étendant généralement du mois de novembre en avril. Les précipitations sont abondantes car elles sont favorisées par l'altitude élevée et la topographie montagneuse de la région. Son plateau est, hydrologiquement, traversé par la rivière Tsiandanitra, qui est essentiel dans l'approvisionnement en eau de la population locale, l'abreuvement bovins et ovins ainsi que pour l'irrigation des terres agricoles. La figure 1 représente la carte géographique de la zone d'étude avec les sites de prélèvements d'eau.



Échantillonnage et analyse de l'eau : Trois points d'eau de puits ont été choisis pour constituer l'ensemble des sites d'étude en

tenant compte des diverses activités anthropiques cernées telles que l'élevage, l'agriculture, la décharge des déchets

ménagers ainsi que les latrines à proximité. Les coordonnées géographiques de chaque site ont été prises grâce à un appareil GPS de type Garmin. À cet effet, deux campagnes de prélèvements d'échantillons, durant une période de cinq jours en mi-mars 2023, ont été faites au niveau de chaque site dont une première prise est consacrée vers la matinale et une seconde prise d'échantillonnage à la fin de l'après-midi. Les prélèvements ont été effectués au niveau de chaque puits à l'aide par l'usage d'un seau lesté et les échantillons

d'eau prélevés ont été mis dans des bouteilles d'eau minérale en polyéthylène, de 1 litre de capacité. Avant le remplissage des bouteilles, celles-ci ont été, trois fois, rincées, sur le terrain avec l'eau des prélèvements. Les bouteilles ont été, ensuite, remplies à ras bord avec le bouchon vissé dans le but d'éviter tout échange gazeux avec l'atmosphère. Les méthodes d'analyse utilisées sont pour la plupart tirées des normes AFNOR dont les méthodes et les équipements utilisés sont précisés dans le tableau 1.

Tableau 1: Matériels et méthodes utilisés lors de l'analyse de l'eau

<i>Analyse des paramètres physico-chimiques</i>			
Paramètres	Méthodes		Équipements
Température et pH	Électrométrie		pH-mètre type HANNA HI 208
CE et TDS	Conductimétrie		Conductimètre type HANNA 99301
Turbidité	Néphélométrie		Turbidimètre type Palintest®
Chlorures	Titrimétrie (méthode de Mohr)		
DBO ₅	Méthode normalisée NF T90-103. Déc.1975		
<i>Analyse microbiologique</i>			
Germes recherchés	Milieux de culture	Méthodes normalisées	T°C et Temps d'incubation en Heure : H
Coliformes totaux	Gélose lactosée au TTC et au Tergitol 7	ISO 9308-1 :2000	37°C pour 24H à 48H
Streptocoques fécaux	Slanetz et Bartley	ISO 7899-2 :2000	44°C pour 48H

Analyse statistique : Le logiciel IBM SPSS statistics 23 a été utilisé aussi bien pour effectuer la statistique descriptive des données obtenues que traiter l'analyse des composantes

principales afin de faire une analyse corrélative entre les différents paramètres étudiés.

RÉSULTATS

Au total, 30 échantillons d'eau de puits ont été analysés pour réaliser la présente étude. Les résultats statistiques montrent une valeur moyenne de la température de $21.6 \pm 0.17^\circ\text{C}$. L'eau de puits est légèrement acide avec un pH moyen de 5.67 ± 0.4 . Par sa valeur moyenne en solide dissous total (TDS) de 52.77 ± 25.37 ppm, elle est faiblement minéralisée avec une teneur en chlorures de 4.1 ± 1.86 mg/L, et s'agit, principalement d'une eau douce vu sa conductivité moyenne de 93.33 ± 60.56 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Par ailleurs, deux puits sur trois présentent une turbidité conforme à la norme de l'OMS avec des valeurs moyennes inférieures à 5 NTU, tandis que le puits 2 présente une turbidité de

l'eau largement élevée avec une valeur minimum de 56,3 NTU et un maximum de 96.7 NTU. De plus, l'eau présente, d'un côté, une faible pollution, principalement d'origine organique avec une valeur moyenne de 1.3 ± 0.18 mg/L de la DBO₅. Et de l'autre côté, une pollution bactériologique, notamment signalée par la présence des coliformes totaux ainsi que des streptocoques fécaux dans les eaux de puits montrent une présence de contamination fécale récente de l'eau indiquant, ainsi, une qualité d'eau ne convenant pas à la consommation humaine. Ces résultats sont représentés par le tableau 2.

Tableau 2: Représentation des valeurs moyennes de tous les paramètres étudiés avec les normes de potabilité de l'eau de consommation.

Paramètres	T	pH	CE	TDS	Turbidité	Cl ⁻	DBO ₅	CT	SF
Unités	°C	-	µs/cm	ppm	NTU	mg/L	mg/L	UFC/100 ml	UFC/100 ml
Normes de l'OMS	-	6,5 - 9	< 3000	-	≤ 5	200	25	-	-
Minimum	18.0	4.84	21	11	0.01	1.88	0.96	2	6
Maximum	23.4	6.18	230	115	97.20	8.36	1.53	58	96
Moyenne + écart-type	21.6 ±0.17	5.67 ±0.40	93.33 ±60.56	52.77 ±25.37	24.63 ±38.68	4.10 ±1.86	1.30 ±0.18	22.30 ±22.10	44.63 ±31.02

CE : conductivité électrique Cl⁻ : chlorures CT : coliformes totaux SF : streptocoques fécaux

DISCUSSION

L'objectif de cette étude est d'évaluer la qualité des eaux de puits de la zone étudiée tout en analysant leurs paramètres physico-chimique et bactériologique. Une tendance acide des eaux de puits étudiées, marquée par des valeurs de pH, toutes inférieures à 6.5 est comparable à l'étude faite par Maoudombaye.T, *al.*, 2015 avec une valeur moyenne de pH 5,47±0,54. Aussi, cette acidité de l'eau de puits peut être due à l'infiltration de l'eau de ruissellement durant la période des pluies comme celle constatée par Razanadrasoa, *et al.*, 2022. Une relation étroite existe entre la conductivité électrique et les solides totaux dissous (TDS) vu que ces deux paramètres décrivent les sels inorganiques présents en solution comme Jaofara, *et al.*, 2022 ainsi que Moussima Yaka *et al.*, 2020 l'ont fait remarquer dans leurs travaux respectifs sur les analyses qualitatives des eaux de puits dans la commune urbaine de Bealanana, région Sofia, Madagascar et sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines et risques sanitaires dans quelques quartiers de Yaoundé VII, Cameroun. Les valeurs obtenues de ces deux paramètres sont assez basses à celles mesurées par Barhé T.A. et Bouaka F., 2013 mais du même ordre au travail de Moussima Yaka *et al.*, 2020 avec des valeurs de la conductivité électrique toutes inférieures à 270 µS/cm et des valeurs de la TDS inférieures à 300 mg/l. L'eau du puits 2 présente une eau beaucoup plus turbide avec des valeurs largement supérieures aux normes de l'OMS, elle correspond à celle obtenue par Jaofara, *et*

al., 2022. Correspondant à l'étude menée par Vodounou et Denonsi, 2018, une faible teneur en ions chlorures de ces eaux épargne les consommateurs des différentes maladies causées par la consommation d'eau ayant un taux élevé en chlorures telles que des maladies rénales et cardiovasculaires. Ce faible taux d'ions en chlorures (valeurs inférieures à 10mg/L), BAKAYOKO, *et al.*, 2022 l'ont aussi trouvé dans leur étude sur la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de consommation à Boguedia en Côte d'Ivoire. L'ensemble des trois points d'eaux de puits étudiées est contaminé microbiologique par des bactéries de types coliformes totaux et streptocoques fécaux qui sont de bons indicateurs de contaminations fécales. Les streptocoques fécaux sont beaucoup plus nombreux par rapport aux coliformes totaux, et l'eau du puits 1 en est le plus contaminée. Toutefois, le taux de contamination de cette étude est inférieur à celui dénombré par Fulvie Kanohin Epse Otchoumou, *et al.*, 2017 avec des concentrations de coliformes totaux variant de 200 UFC/100 ml à 39600 UFC/100 ml ainsi que des concentrations en streptocoques fécaux variant de 20 UFC/100 ml à 360 UFC/100 ml.

Quant aux résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) des différents paramètres étudiés, les deux premiers axes du plan factoriel F₁ et F₂ (Figure 1) représentent 73.77% du cumulé de la variance totale. Avec une variance de 56.99%, l'axe F₁ est fortement corrélé positivement avec la conductivité

électrique, le TDS, les ions chlorures, les coliformes totaux et les streptocoques fécaux. Cet axe contraste avec la turbidité et le pH et il exprime la minéralisation et la pollution microbienne d'origine fécale des eaux de puits analysées. En d'autres termes, l'axe F₁ regroupe l'eau de puits fortement polluée bactériologiquement malgré un faible taux de minéralisation de l'eau (Figure 3). Certes, les fortes corrélations positives entre la conductivité électrique et les coliformes totaux (r=0.78) ainsi qu'entre la conductivité électrique et les streptocoques fécaux (r=0.70) montrent que malgré une eau de puits

faiblement minéralisée, la contamination fécale persiste. L'axe F₂ représente, quant à lui, 16.77% de la variance auquel il exprime la nature et le degré de pollution de l'eau en bien représentant le paramètre chimique qu'est la DBO₅. Certes, le travail de F. Le Duc et D. Vaurette a affirmé qu'une corrélation positive et significative entre la DBO₅ et les coliformes totaux (r=0.62) indique une dégradation de la qualité bactérienne de l'eau. Cette dégradation est due par une infiltration d'eau de surface dans le puits ou au développement progressif de biofilm.

Tableau 3: Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et bactériologiques.

	T°C	pH	CE	TDS	[Cl ⁻]	Turbidité	DBO ₅	CT	SF
T°C	1								
pH	0.09	1							
CE	0	-0.54	1						
TDS	0.07	-0.41	0.89	1					
[Cl ⁻]	0.13	-0.71	0.45	0.38	1				
Turbidité	0.14	0.72	-0.64	-0.60	-0.47	1			
DBO ₅	0.09	-0.15	0.22	0.15	0.51	0.24	1		
CT	0.07	-0.78	0.70	0.57	0.80	-0.54	0.62	1	
SF	-0.02	-0.87	0.78	0.67	0.74	-0.74	0.37	0.92	1

CE : conductivité électrique CT : coliformes totaux SF : streptocoques fécaux

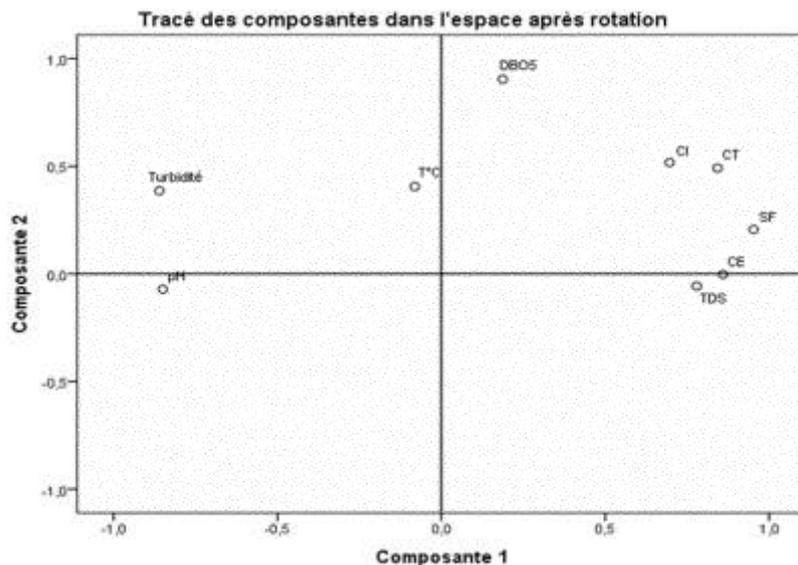


Figure 2: Carte de corrélations

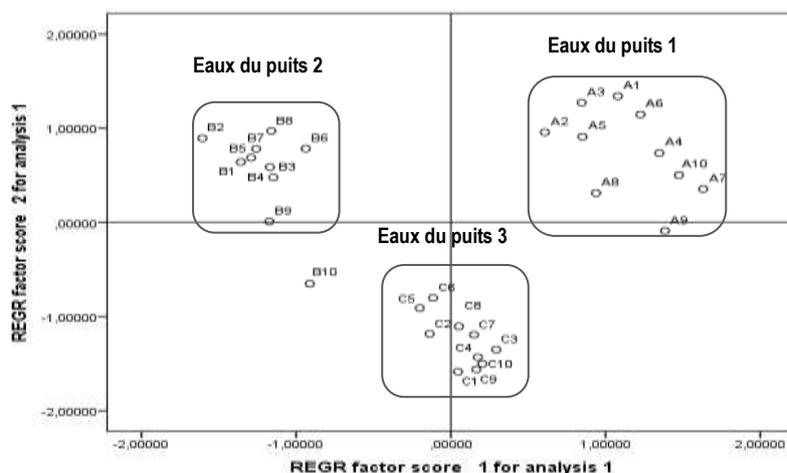


Figure 3: Classification des eaux de puits selon le degré de contamination

CONCLUSION ET APPLICATION DES RÉSULTATS

À l'issue de cette étude, la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau des puits du Fokontany Ambohibory a été évaluée. Les résultats révèlent que le puits 2 présente une turbidité comprise entre 56,3 et 96,7 NTU qui est largement supérieure à 5NTU (normes de l'OMS). Puis, s'en suit une faible minéralisation avec une teneur en chlorures de $4,1 \pm 1,86$ mg/L bien inférieure au minimum recommandé par l'OMS (250mg/L), ainsi que d'une légère acidité généralisée avec un pH moyen de $5,67 \pm 0,4$. Ces caractéristiques indiquent que les eaux des puits d'Ambohibory ne sont pas conformes aux directives et recommandations de l'OMS concernant les normes de potabilité de l'eau de

consommation. De plus, la présence de coliformes totaux et de streptocoques fécaux signale une contamination fécale, rendant l'eau inadaptée à la consommation humaine. Ces pollutions sont probablement liées à des activités anthropiques, telles que l'infiltration des rejets domestiques, l'utilisation d'engrais provenant des fumiers animaux, et la proximité de latrines à fond perdu. Elles exposent ainsi les consommateurs à divers risques de maladies hydriques. Dans cette optique, des mesures préventives telles que la chloration ainsi que l'utilisation de coagulants tels que la chaux vive et le sulfate d'alumine doivent être prises pour limiter la pollution de ces eaux de puits.

RÉFÉRENCES

- Bakayokou A.B., Gbagbo T.G., Kpaybe S.A., Claon J.S., Sackou K.J., Amin N.C. (2022). Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de consommation à Boguedia de 2014 à 2018. *Cahier.Santé Publique*, 21(1).
- Mac Alister C. (2023). *Global Water Security 2023 Assessment*. Rapport ONU.
- Barhe T.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), 605-612.
- Cream : Centre De Recherches, D. E. (2011). *Monographie de la région Matsiatra Ambony*.
- Moussima Yaka D.A., Tiemeni A.A., Zing Zing B., Jokam Nenkam T.L.L., Aboubakar A., Nzeket A.B., Fokouong Tcholong B.H., Mfopou Mewouo Y.C. (2020, Juin). Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines et risques sanitaires dans quelques quartiers de Yaoundé VII, Cameroun. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 14(5).

- Le Duc F. et Vaurette D. *Contrôle bactériologique de la potabilité des eaux*. Trégor Solidarité Niger.
- Vodounou J.B.K. Et Denonsi A.O. (2018). Caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques des eaux de puits dans la ville de Parakou, Centre-Bénin. *Afrique SCIENCE*, 14(3), 336 - 352.
- INSTAT Madagascar. (2018). *Eau de boisson, assainissement et hygiène*. Rapport UNICEF.
- Jaofara., Bisoa V., Razafitsiferana T., Lehimena C. (2022, Mai). Analyses qualitatives des eaux de puits dans la commune urbaine de Bealanana, région Sofia, Madagascar. *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 14(5), 239-252.
- Maoudombaye T., Ndoutamia G., Seid Ali M., Ngakou A. (2015, Décembre). Étude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de Doba au Tchad. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680(24), pp. 193-208.
- OMS/UNICEF. (2021). *Progrès en matière d'eau, d'assainissement et d'hygiène*. Rapport ONU.
- Kanohin F., Otchoumou E., Yapo O.B., Dibi B., Bonny A.C. (2017, Octobre). Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville. *International Journal of Biological and Chemistry Sciences*, 11(5), 2495-2509.
- Razanadrasoa V.B., Rasoarahona J., Rasolomampianina R., Ratiarimananjatovo N., Rabearisoa S.R., Ridwan M., Koto-Te-Nyiwa N., Robijaona Rahelivololoniaina B. (2022, Avril). Evaluation of the Physico-Chemical Quality of Well Water in the Analamanga Region (Antananarivo), Madagascar. *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal*, 4(2), 193-201.