



Original Paper

<http://ajol.info/index.php/ijbcs>

<http://indexmedicus.afro.who.int>

Risques sanitaires liés à la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de source souterraine d'Igaga, Fianarantsoa (Madagascar)

Andry Harinaina RABEARISOA^{1*}, Viviane HARINANDRASANA¹,
Hajandrainy RABEARISOA², Jean Claude Richard RAKOTOZAFY²,
Bruno RAZANAMPARANY³ et Sedravola Nasolo RANDIMBIARISON²

¹Université de Fianarantsoa, Sciences et Technologies. Andrainjato, Fianarantsoa, Madagascar.

²Université de Fianarantsoa, Laboratoire de Chimie de la Faculté de Science Andrainjato, Madagascar.

³Université d'Antananarivo, Ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau, Laboratoire de Chimie de la Faculté de Sciences d'Antananarivo, Madagascar.

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

Received: 06-10-2023

Accepted: 11-12-2023

Published: 31-12-2023

RESUME

L'eau, une ressource vitale, est étudiée pour évaluer les risques sanitaires liés à sa qualité dans la ville de Fianarantsoa, Madagascar. En mars 2023, des analyses ont été réalisées sur des échantillons d'eau prélevés à Igaga, incluant des mesures physico-chimiques telles que la température, le pH, la conductivité électrique, les solides totaux dissous, la turbidité, la demande biologique en oxygène sur cinq jours, le taux d'ion chlorure, ainsi que des analyses bactériologiques couvrant les coliformes totaux et le streptocoque fécaux par la méthode de filtration sur membrane. Les résultats obtenus ont montré que les échantillons prélevés présentaient une valeur moyenne de turbidité 9,19 NTU dépassant la norme établie, ils ont été faiblement minéralisés avec la valeur moyenne de conductivité 130,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et légèrement acide. De plus les eaux ont été contaminées par des germes bactériologiques de coliforme totaux en 38,50 colonies/100 ml en moyenne et streptocoques fécaux en 43 colonies /100 ml en moyenne. En conclusion, l'eau de source d'Igaga présentait des risques potentiels pour les utilisateurs, particulièrement en ce qui concerne les maladies d'origine hydrique. Cette augmentation des germes fécaux pourrait être attribuée au ruissellement après la saison des pluies et au manque d'assainissement et d'hygiène dans l'environnement de la source.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Madagascar, qualité de l'eau, risque sanitaire, eau souterraine, assainissement.

Health risk related to the physic-chemical and bacteriological quality of groundwater Igaga Fianarantsoa (Madagascar)

ABSTRACT

Water, a vital resource, is being studied to assess health risks associated with its quality in the city of Fianarantsoa, Madagascar. In March 2023, analyses were conducted on water samples collected in Igaga, including physico-chemical measurements such as temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, turbidity, five-day biochemical oxygen demand, chloride ion concentration, as well as bacteriological

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

9534-IJBCS

DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i7.33>

analyses covering total coliforms and fecal streptococci using the membrane filtration method. The results showed that the sampled water had an average turbidity value of 9.19 NTU, exceeding the established standard. They were weakly mineralized with an average conductivity value of 130.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ and slightly acidic. Furthermore, the water was contaminated with bacteriological germs, with an average of 38.50 colonies/100 ml for total coliforms and 43 colonies/100 ml for fecal streptococci. In conclusion, Igaga's spring water presented potential risks for users, particularly regarding waterborne diseases. This increase in fecal germs could be attributed to runoff after the rainy season and the lack of sanitation and hygiene in the source environment.

© 2023 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Madagascar, water quality, health risk, groundwater, sanitation.

INTRODUCTION

L'eau, fondement essentiel de la vie, demeure une ressource cruciale pour la survie de tous les êtres sur terre (Houssou, 2010). Toutefois, la croissance démographique et le développement industriel accroissent la demande en eau à l'échelle individuelle, tandis que la disponibilité de cette ressource diminue considérablement en raison du changement climatique et d'autres facteurs (Linton et Budds, 2014). Cette situation entraîne une difficulté croissante d'accès à l'eau potable pour l'humanité. Actuellement, une tendance émerge, où des sources non fiables et potentiellement risquées pour la santé sont exploitées. En 2020, 368 millions de personnes utilisaient des puits et des sources non protégées, tandis que 122 millions de personnes collectaient des eaux de surface non traitées provenant de lacs, d'étangs, de rivières et de ruisseaux (Unesco, 2023).

La conséquence directe de cette difficulté d'accès à une eau potable fiable réside dans la consommation d'eau polluée et de mauvaise qualité, représentant une des principales causes de maladies altérant la santé humaine (Vissin et al., 2016). Les chiffres alarmants de l'OMS et de l'UNICEF (2022) révèlent que chaque année, 1,4 million de personnes, dont de nombreux enfants, succombent à des maladies diarrhéiques contractées en raison de l'insalubrité de l'eau et du manque d'assainissement adéquat. Ces problématiques sont indéniablement la source de maladies et de décès, en particulier chez les enfants de moins de 5 ans (WHO, 2022). Madagascar n'échappe pas à cette réalité, avec

près de 24% des foyers malgaches privés d'accès à l'eau potable et 30% dépourvus d'un assainissement de base adéquat (PEAH, 2021), ce qui maintient les maladies d'origine hydrique parmi les principales causes de morbidité dans l'île.

Dans le quartier d'Igaga de la ville de Fianarantsoa, les habitants recourent à une source d'eau souterraine non protégée pour la consommation et les usages ménagers. Cependant, peu d'études ont été abordées pour évaluer les risques sanitaires potentiels liés à la qualité de cette source d'eau. Ainsi, l'objectif principal de cette étude était d'analyser la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau, visant à identifier les dangers sanitaires auxquels la population est exposée en raison de l'utilisation de cette source non sécurisée dans cette localité.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Présentation de la zone d'étude

Fianarantsoa fait partie des hautes régions centrales de Madagascar. Cette commune couvre une étendue de 138,69 km^2 dont le centre-ville est 24 km^2 , et sa population est estimée à 193.813 habitants. Fianarantsoa présente deux zones écologiques telles que la zone A inférieure à 1200 m et la zone B comprise entre 1200 m et 1600 m. Des canaux d'évacuations au centre de la ville et deux cours d'eau, le « Mandranofotsy » au Sud à l'Ouest, tandis que « Tsiandanitra » à l'Est et qui affluents de la rivière « Matsiatra » au Nord. La zone d'étude a un climat à l'image de type tropical et alors, à deux saisons bien distinctes. De novembre à avril c'est la période

chaude et pluvieuse pendant laquelle se concentre 90% des précipitations et la température maximum peut atteindre 25°C. Ensuite de mai à octobre la période fraîche et humide où la température peut diminuer jusqu'à 10°C. Igaga est placé dans l'arrondissement d'Andrainjato Sud de la commune et se situe dans la zone écologique A entre 21°27.528' de latitude Sud et 47°05.888' de longitude Est, son altitude vaut 1104 m. En 2022, la population a été estimée de 3428 habitants soit 912 ménages. Près d'un cinquième de la population utilisent l'eau de source souterraine dans cette localité pour leur besoin en eau. Ce quartier a été choisi pour être la zone d'évaluation des dangers auxquels les populations sont exposées.

Matériel

Les outils d'analyse, comprenant le GPS Garmin Map 60 CSX, le thermomètre, le pH-mètre de type HANNA HI 208, le turbidimètre de type palintest®, le conductimètre de type HANNA 99301, l'oxymètre multiparamètre WTW 340i, la membrane filtrante de porosité 0,45 µm de diamètre, et l'autoclave, ont été employés respectivement pour recueillir les coordonnées géographiques, mesurer la température, le pH, la turbidité, la conductivité électrique et les TDS, évaluer la demande biologique en oxygène, filtrer les colonies bactériennes, et stériliser les instruments lors des analyses microbiologiques.

Méthodes

Échantillonnage de l'eau

Les prélèvements ont été réalisés avec une fréquence de dix jours durant la saison de pluie en mois de mars. L'heure du prélèvement a été fixée à 8h du matin et 15h de l'après-midi. Le pH et la température de l'eau ont été mesurés *in situ*. Les échantillons ont été prélevés avec des bouteilles polyéthylène stériles étiquetées et ensuite placées dans la glacière avec une température à moins 4°C

(Rodier et al., 2009) jusqu'à l'expédition aux laboratoires pour le reste des analyses.

Analyse bactériologique

Les analyses microbiologiques, incluant les coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux (SF), ont été réalisées en filtrant 100 ml d'échantillon à travers une membrane de 0,45 µm de porosité, conformément aux normes ISO 9308-1: 2000 et 7899-2: 2000. Les filtres ont été déposés sur des boîtes de Pétri stériles, chacune contenant un milieu de culture spécifique pour chaque groupe de microorganismes. Les CT ont été analysés en utilisant le milieu slantz and Barthy, tandis que les SF ont été cultivés sur une gélose lactose au TTC. Les boîtes de Pétri ont été incubées dans une étuve thermostatée pendant 24 heures à 37 °C. Des essais de filtration ont été réalisés avec et sans dilution (une dilution de facteur 1/10 a été appliquée). Le dénombrement des colonies a été effectué conformément au Tableau 1.

Analyse physico-chimique

La mesure du pH des échantillons a été réalisée *in situ* par le pH-mètre portable de type HANNA HI 208, ainsi la température sur terrain par le thermomètre à l'affichage numérique. La conductivité électrique et les solides totaux dissous ont été mesurés simultanément par le Conductimètre type HANNA 99301. Ensuite la mesure de la turbidité a été faite par le Turbidimètre type Palintest®. Les chlorures ont été obtenus par la méthode de Mohr selon le protocole de Richard et al. (2023). Et enfin la DBO5 par méthode normalisée NF T90-103 (déc. 1975). Pour la caractérisation de la qualité physico-chimique, les valeurs référentielles de l'OMS pour les paramètres physico-chimiques des eaux souterraines ont été utilisées (OMS, 2006).

Analyse statistique

La corrélation de Pearson a été utilisée pour savoir l'interdépendance entre les paramètres. Le logiciel IBM SPSS Statistics 23 a été utilisé pour l'analyse statistique des variables.

Tableau 1 : Méthode de dénombrement des colonies de bactéries.

Méthodes	Paramètres	
	Coliformes totaux	Streptocoques fécaux
ISO 9308-1 : 2000		ISO 7899-2 : 2000
Unité	ufc/100 ml	ufc/100 ml
Critères OMS et Malagasy	0/100 ml	0/100 ml
Colonies caractéristiques	Colonies caractéristiques de coloration jaune à orangée	Colonies violette, rouge, marron ou rose
Expression des résultats	$N = \frac{Nb\ colonies\ à\ oxydase -}{d}$ d : facteur de dilution N : nombre de coliformes totaux/100ml	$N = \frac{Nb\ colonies\ à\ catalase -}{d}$ N : nombre de streptocoques du groupe D/100ml N : Nombre de colonies typiques

RÉSULTATS

La Température

La plage de température des eaux souterraines d'Igaga, indiquée dans le Tableau 2, a montré une étroitesse, s'étendant de 20,50°C à 22,50°C, avec une stabilité notable au cours de l'échantillonnage. Ces valeurs se situent en conformité avec la recommandation de l'OMS, qui préconise une température inférieure à 25°C.

Le pH

Les valeurs de pH des échantillons d'eau souterraine d'Igaga, majoritairement inférieures aux seuils recommandés par l'OMS (6,5 à 8), ont indiqué une légère acidité de l'eau étudiée, oscillant entre 6,35 et 6,65 comme illustre le Tableau 2.

La conductivité électrique et TDS et chlorure

La mesure de la conductivité a offert une estimation de la minéralisation de la source, avec des résultats variant entre 102 µS/cm et 168 µS/cm comme le montre le Tableau 2. Ces valeurs demeuraient largement inférieures à la directive de l'OMS fixée à 3000 µS/cm. Ainsi, l'eau souterraine étudiée présentait une faible minéralisation, avec une valeur moyenne de 130,50 ± 16,67 µS/cm. En ce qui concerne la teneur en chlorure, elle oscille entre un minimum de 152,19 mg/l et un maximum de 253,65 mg/l.

La turbidité

Le Tableau 2 a également indiqué que seuls quatre échantillons d'eau ont été respectés la norme recommandée pour la turbidité, avec des valeurs inférieures à 5 NTU. Les échantillons restants présentaient une turbidité élevée, ce qui pourrait contribuer à la dégradation de la qualité de l'eau, avec des valeurs atteignant jusqu'à 15,10 NTU. Une turbidité élevée a suggéré la présence de matières en suspension, favorisant ainsi l'activité microbienne dans l'eau, comme illustré dans le Tableau 3 de la matrice de corrélation.

La demande biologique en oxygène DBO5

L'eau analysée présentée dans le Tableau 2 a aussi révélé une faible pollution, principalement d'origine organique avec une valeur moyenne de 1,99 ± 0,23 mg/L de la DBO₅.

La contamination microbiologique

Le Tableau 2 a également souligné que tous les échantillons ont été contaminés par des germes indicateurs d'une contamination organique, notamment les coliformes totaux, avec des concentrations variant de 10 à 60 UFC/100 ml. De plus, les colonies de streptocoques fécaux, indicatrices de pollutions fécales, ont été détectées dans tous les échantillons, oscillant entre 10 et 70 UFC/100 ml.

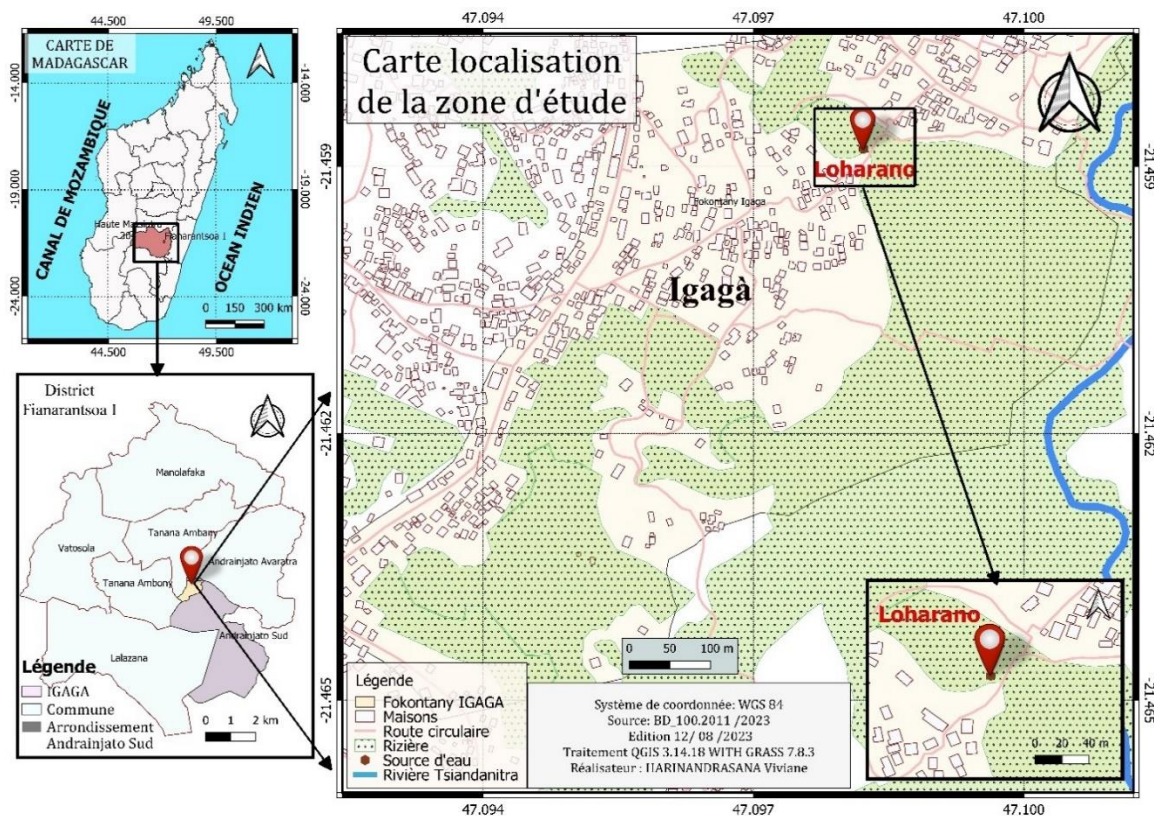


Figure 1 : Localisation graphique du site d'étude Igaga-Fianrantsoa Madagascar.

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

Paramètres	T	pH	CE	TDS	Turbidité	Cl	DBO5	CT	CF
Unités	°C	-	μS/cm	Ppm	NTU	mg/l	mg/l	UFC/100 ml	UFC/100 ml
Norme de l'OMS	-	6,5 – 9	<3000	-	≤ 5	200	25	-	-
Minimum	20,5	6,35	102	51	3,82	152,19	1,31	10	10
Maximum	22,5	6,65	168	85	15,10	253,65	2,26	60	70
Moyenne +	21,67	6,45	130,5	66,25	9,19	212,82	1,99	38,5	43
Ecart-type	±0,63	±0,07	±16,67	±8,09	±3,36	±27,17	±0,23	±15,53	±19,21

CE : conductivité électrique

CT : coliformes totaux

SF : streptocoques fécaux

Tableau 3: Matrice de corrélation des variable.

	T	pH	CE	TDS	Turbidité	DBO5	Cl⁻	CT	SF
T	1								
Ph	-0,16	1							
CE	0,39	0,21	1						
TDS	0,38	0,17	0,93	1					
Turbidité	-0,29	-0,08	-0,41	-0,46	1				
DBO5	-0,44	0,71	0,07	0,13	0,14	1			
Cl⁻	0,31	0,30	0,03	0,14	-0,25	0,03	1		
CT	0,00	-0,08	-0,23	-0,37	0,86	-0,04	-0,23	1	
SF	0,00	-0,05	-0,25	-0,42	0,80	-0,09	-0,24	0,93	1

DISCUSSION

L'analyse des échantillons d'eau prélevés a maintenu une conformité à la température ambiante, ne dépassant pas les 25°C, et la littérature, notamment les travaux de Jean Rodier, a suggéré que la détérioration de la qualité de l'eau est moins sensible aux variations de température (Rodier, 2004). L'eau étudiée a présenté une légère acidité, avec une valeur moyenne de pH de 6,45, inférieure à la norme recommandée mais en cohérence avec la plupart des eaux souterraines de référence (Matini et al., 2009). Cette acidité pourrait résulter de la nature du terrain au milieu de la riziculture, influencée par divers paramètres, tels que la température selon Haissoufi et al.(2011) et Ghazali et al.(2013). Ces auteurs ont expliqué que cette acidité serait potentiellement liée aux activités villageoises, telles que les canaux et les déchets, créant des risques d'insolubilité des métaux toxiques dans l'eau. Ces observations corroborent la réalité des activités environnantes de notre site d'étude, étant donné que les canaux d'évacuation résultant des usages domestiques et du pâturage des bovins, situés à environ 5

mètres de la source, ne respectent pas les recommandations de l'OMS, ce qui pourrait potentiellement influencer l'acidité de la source.

La conductivité électrique est l'un des paramètres permettant d'obtenir une indication sur le degré de minéralisation dans l'eau (El Haissoufi et al., 2011). Les eaux étudiées ont été présentées une faible minéralisant avec une valeur moyenne de 130,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de conductivité qui est en dessous de la valeur recommandé par l'OMS (3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ces résultats présentent la similarité avec ceux de Fulvie et al. (2017), Mehounou et al.(2016) pour la même période de saison de pluie. La diminution observée résulte de la dilution des eaux par l'apport des eaux de pluie, entraînant une réduction de la concentration des sels minéraux dissous dans l'eau. D'après les observations sur le terrain, la texture sableuse des sols du site d'étude explique également les faibles niveaux de conductivité de la source. Cette hypothèse est corroborée par le rapport de Rajonson et al. (1992), qui indique que les eaux naturelles de Madagascar sont généralement faiblement minéralisées, à

l'exception des zones riches en calcaire et des sources provenant de roches sédimentaires, et contredisent les résultats trouvés par Mbawala et al.(2010) dans les zones ferrallitiques qui pourraient expliquer le niveau élevé de la conductivité. Par conséquent, la composition géologique du terrain et la période d'échantillonnage contribuent à l'observation d'une concentration réduite en sels minéraux.

En ce qui concerne la turbidité, les valeurs ont dépassé les normes établies par l'OMS pour l'eau potable. Cette constatation pourrait être expliquée par la présence de matières en suspension telles que le limon et l'argile dans l'eau (WHO, 2011). Cette augmentation pourrait favoriser le développement des microorganismes sur ces particules en suspension (Ghazali et al., 2013). La forte corrélation entre turbidité, coliformes fécaux et streptocoques fécaux ($r = 0,88$) souligne le risque potentiel pour la consommation humaine.

Tous les échantillons présentaient des germes de contamination, notamment les coliformes totaux et les streptocoques fécaux, mettant en doute la qualité de l'eau pour la consommation humaine. Les possibles sources de cette contamination, notamment l'environnement lié à la riziculture et l'utilisation d'engrais d'origine animale, évoquent des scénarios similaires à l'étude de Majdouline et al.(2013) dans la région de Meknès. Cette étude mettait en lumière une origine mixte de la contamination, impliquant notamment la sortie des animaux dans les pâturages pour brouter, ainsi que des lacunes en matière d'assainissement au sein de la population, notamment l'évacuation des déchets et la proximité des latrines par rapport à la norme de 10 mètres près de la source.

Les analyses statistique et factorielle soulignaient l'interdépendance entre les paramètres étudiés, mettant en évidence des corrélations significatives. La matrice de corrélations du Tableau 3 fournit des

indications sur les relations entre les paramètres examinés, mettant en évidence des corrélations significatives entre la conductivité électrique et le TDS, le pH et la DBO5, la turbidité, les coliformes totaux et les streptocoques fécaux. Une analyse factorielle a également été réalisée pour évaluer l'interdépendance entre les variables, révélant une variance totale de 59,56% par les composantes 1 et 2. Comme le montre la Figure 2, l'axe 1 avec une variance de 38,54%, est principalement attribué à la contamination de l'eau par les paramètres bactériologiques et à la détérioration de la qualité de l'eau au niveau des paramètres physico-chimiques tels que la turbidité, la conductivité électrique et la teneur en chlorure. Cela expliquerait la position à droite des paramètres dépassant la norme et à gauche des paramètres en dessous de la norme. L'axe 2 représente 21,02% de la variance, principalement influencé par la sensibilité des valeurs du pH en fonction de la température de l'eau comme illustré la Figure 2.

En ce qui concerne l'appréciation de la qualité de l'eau et des risques sanitaires, le pH acide en dessous de la norme (6,5) reflète la nature corrosive de l'eau. La faible minéralisation, indiquée par la conductivité électrique inférieure à la valeur seuil, témoigne de la douceur de l'eau. Cependant, cela pourrait poser un problème pour la santé, car une eau douce pourrait associer aux maladies cardiovasculaires (Kozisek, 2005). Les fortes turbidités signalent des problèmes d'acceptabilité de l'eau et suggèrent une détérioration de sa qualité microbiologique (OMS, 2011). Tous les échantillons ont été contaminés par des germes de contamination fécale et d'autres origines, tels que les streptocoques fécaux et les coliformes totaux. Ces contaminants pourraient représenter des menaces pour la santé des usagers, en particulier les personnes âgées, vulnérables et les enfants, exposant la population à des maladies d'origine hydrique.

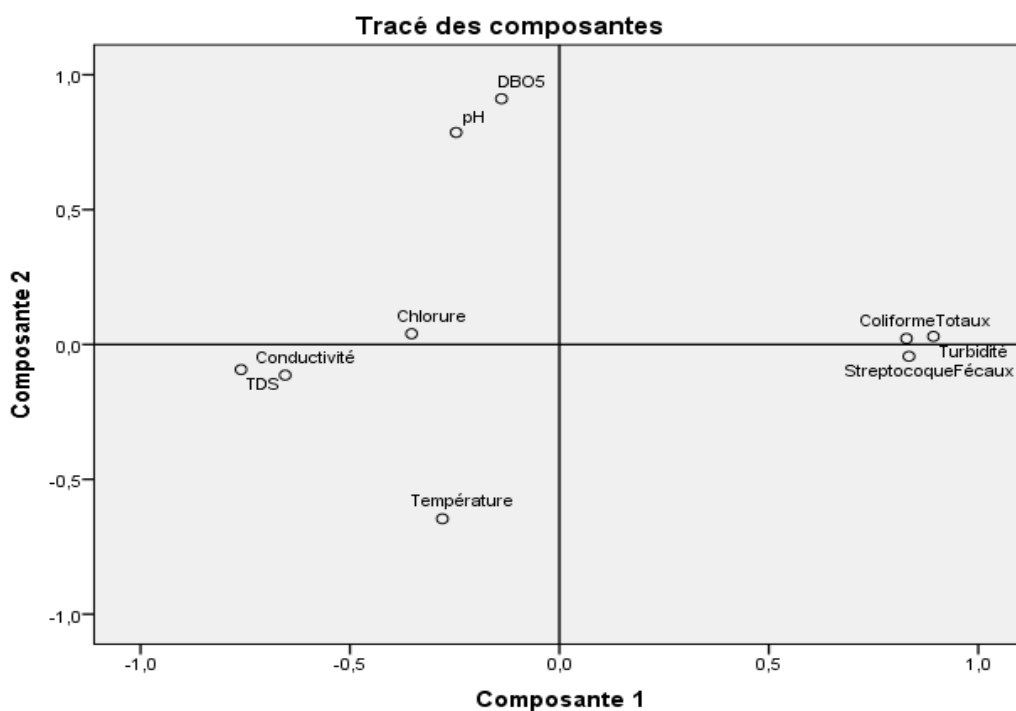


Figure 2 : Carte des corrélations.

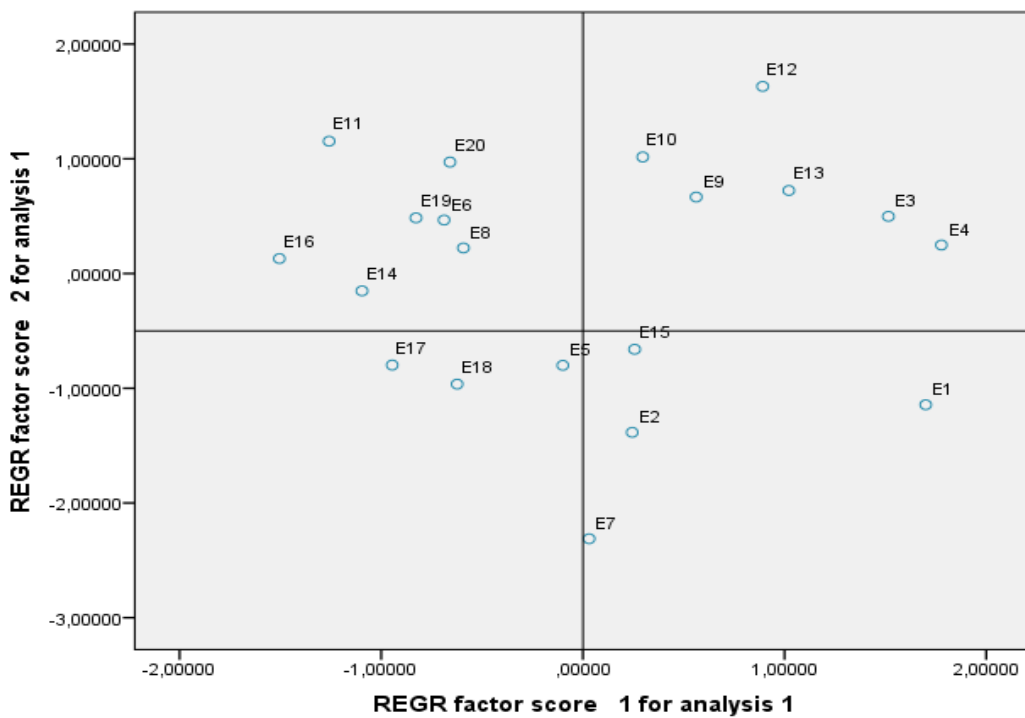


Figure 3 : Distribution des échantillons sur la carte factorielle.

Conclusion

L'étude préliminaire visant à évaluer les risques sanitaires associés à l'eau de source souterraine d'Igaga, située dans la haute terre centrale de Madagascar, a évalué la qualité de l'eau consommée par la population locale. Les données issues des analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eau ont révélé des indices préoccupants quant à l'exposition potentielle des habitants. Le pH légèrement acide, la faible minéralisation indiquée par la conductivité, les TDS et les niveaux de chlorure, ainsi que la turbidité, dépassent les recommandations de l'OMS pour l'eau potable. La turbidité, en particulier, souligne la présence de matières en suspension, susceptible de favoriser la croissance microbienne dans l'eau. Les échantillons sont contaminés par des germes d'origine fécale, notamment les streptocoques fécaux et les coliformes totaux. L'analyse statistique a révélé une corrélation significative entre l'eau turbide et la contamination microbiologique, faisant de l'eau d'Igaga une source suspecte en termes de qualité pour la consommation humaine, entraînant ainsi des risques potentiels pour la santé des usagers. Il est impératif de suivre l'évolution de la qualité de l'eau pour prévenir d'éventuels risques. La sensibilisation des consommateurs et des parties prenantes est cruciale pour instaurer des pratiques d'assainissement et d'hygiène au niveau de la source d'approvisionnement.

CONFLIT D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont pas d'intérêts concurrents.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

AHR et VH ont élaboré la conception du manuscrit, supervisé la collecte des données et interprété les résultats statistiques. HR a apporté son assistance pour l'acquisition des données au sein du laboratoire de chimie du CNRE. JCRR a contribué à l'interprétation des résultats, tandis que BR a apporté son aide à l'interprétation des résultats et à la rédaction de la méthodologie. De plus, SNR a participé à la rédaction du manuscrit et à la création de la carte géographique.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été effectué en collaboration avec le Laboratoire de Centre Nationale de Recherche sur l'Environnements à Antananarivo. Les auteurs tenaient à remercier tous leur soutien lors de l'analyse.

REFERENCES

- El Haissoufi H, Berrada S, Merzouki M, Aabouch M, Bennani L, Benlemlih M, Idir M, Zanibou A, Bennis Y, OualiLalami A. 2011. Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès. Maroc. *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn.*, **5** (1) : 37-68. Disponible sur <https://www.citefactor.org/article/index/72038/pdf/pollution-des-eaux-de-puits-de-certains-quartiers-de-la-ville-de-fes-maroc>
- Fulvie KO, Ossey BY, Brou D, Aya CB. 2017. Caractérisation physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de Bingerville. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **11**(5): 2495-2509. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.43>
- Ghazali D, Zaid A . 2013. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la source Ain Salama-Jerri (région de Meknès-Maroc). *Larhyss Journal*, **10**(1) : 25-36. Disponible sur <https://www.asjp.cerist.dz/en/article/54906>
- Houssou CJL. 2010. Gestion de l'eau au Bénin et ses impacts environnementaux : cas de l'arrondissement de Houin dans la commune de Lokossa. Mémoire de maîtrise professionnelle. Université d'Abomey : Calavi Bénin.
- Kozisek F. 2005. Health Risks from Drinking Demineralised water. In *Nutrients in Drinking Water*. World Health Organization: Geneva, Suizerland; 148-163. Disponible sur <https://www.researchgate.net/publication/252043662>
- Linton J, Budds J. 2014. The hydrosocial cycle: Defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. *Geoforum*, **57**: 170-180. DOI:

- <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2013.10.008>
- Majdouline L, Abdelmajid S, Mohamed H, Azzedine EM. 2013. Contamination spatio-temporelle d'origine hydrique de l'oued Boufekrane dans la région de Meknès-Tafilalt (Maroc). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **7**(1): 172-184. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i1i.14>
- Matini L, Moutou JM, Kongo-Mantono MS. 2009. Evaluation hydrochimique des eaux souterraines en milieu urbain au sud-ouest de Brazzaville, Congo. *Afrique Science*, **5**(1): 82-98. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/afsci.v5i1.61709>
- Mbawala A, Abdou, Ngassoum MB. 2010. Evaluation de la pollution physico-chimique et microbienne des eaux de puits de Dang-Ngaoundéré (Cameroun). *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **4**(6): 1962-1975. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v4i6.64946>
- Mehounou JP, Josse RG, Pierre DY, Serge FS, Toklo RM. 2016. *Journal of Applied Biosciences*, **103**(1): 9841-9853. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v103i1.6>
- OMS. 2006. *Water and Sanitation Related Diseases Fact*. Organisation Mondiale de la Santé : Genève, Suisse.
- Plan sectoriel de l'Eau de l'Assainissement et Hygiène. 2021. Accès à l'eau potable pour Madagascar
- Rajonson J, Rasolofonirina N, Ratoveloson J, Ravaonindrina N. 1992. Récupéré sur Institut de Recherche pour le Développement (IRD): https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/carton01/40360.pdf
- Richard B, Yvonne I, Céline S. 2023. Etude hydrogéochimique des eaux thermales de Kaswa/Mahagi au Nord-Est de la République Démocratique du Congo. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, **17**(5): 2089-2101. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v17i5.26>
- Rodier J, Bernard L, Nicole M, Régis B. 2009. *L'Analyse de l'Eau* (9ème édn). Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Ed. Dunod : Paris.
- The WHO Regional Director for Africa reports. 2022. Health in Africa: Africa.
- Unesco. 2023. Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau partenariats et coopération pour l'eau. UNESDOC: Afrique.
- Vissin E, Aimade E, Luc DD, Marc S, Emile YA, Gervais AA. 2016. Qualité de l'eau et maladies hydriques dans la commune de Toffo (Bénin, Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences*, **106**: 10300–10308. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v106i0.10>