



IMPACTS DES ACTIVITES ANTHROPIQUES SUR LA QUALITE DE L'EAU DE SOURCES ISSUES DU SITE CIRQUE ROUGE DE MAHAJANGA

**RANDRIAMIALY Jean Dominique¹, RAHARINIAINA Mamiharilanto Léonie²,
RAZAFITSALAMA Victorien²**

¹ Enseignant Chercheur, Maître de Conférences d'ESR, Université de Mahajanga

² Doctorant à l'Ecole Doctorale du Génie du Vivant, Université de Mahajanga

Résumé : Cirque rouge sise à Mahajanga, classé patrimoine naturel protégé selon le décret n°2010-722 du 14 juillet 2010 est une formation géologique sédimentaire d'âge quaternaire. Plusieurs sources y débouchent donnant naissance à de petits cours d'eau dont le débit et la puissance varient au cours de l'année. Le choix du site d'étude est dicté par le fait que d'une part c'est un site touristique incontournable attirant beaucoup de visiteurs s'adonnant, en aval du cours d'eau, à de la baignade de l'autre les riverains l'utilisent comme eau de consommation. Comme matériel biologique objet d'étude nous avons prélevé quatre échantillons d'eaux de source un en amont lieu sacré pour les rites traditionnelles, deux à des points intermédiaires et un en aval du cours d'eau afin de vérifier leur potabilité. Ce mémoire est réalisé à travers des documentations, des enquêtes socio-économiques, des analyses physico-chimiques et microbiologiques des dits échantillons d'eau prélevés. Les quatre sources de prélèvement les plus usitées sont toutes à première vue non sécurisées et non protégées. Les visiteurs varient de 10 pour les jours normaux, environ 50 durant la période de pleine lune à 500 personnes par jours durant les vacances. La population utilise l'eau de la source selon leur besoin. Dans l'ensemble, la qualité organoleptique de toutes les échantillons a été excellente. Toutefois leur qualité physico-chimique a été inacceptable. En effet, la source n° 4 présente un excès en matière organique (2,8 mg/l). Le pH des sources n° 1 (5,2) ; 2(5,55) et 3 (5,75) est inférieur à la norme requise. La turbidité des sources n° 1 et 3 a été en excès avec 10,5 et 14,8 NTU, il en est de même pour celles du nitrite dans le cas des sources n°3 (0,88 mg/l) et 4 (0,55 mg/l). Concernant les paramètres microbiologiques, toutes les sources sont contaminées sauf pour celle du n° 2. La source n° 1 a été contaminée par les coliformes totaux avec 6 germes/ 100 ml. Les sources n° 1 ; 3 et 4 contiennent de Streptocoques fécaux dont la charge est supérieure à 1 germe, et des Anaérobies Sulfito-Reducteurs dépassant les

2 germes. Bref pour conclure les échantillons d'eau issus des sources du Cirque rouge de Mahajanga s'avèrent non potables, à l'exception de la source n° 2 qui a été satisfaisante. La source n° 3 a été la plus infectée et polluée. A titre de suggestions, des traitements préalables et mesures adéquates devraient être entrepris pour pallier à ces imperfections.

Mots clés : Cirque Rouge de Mahajanga, germes recherchés, prélèvements, qualité microbiologique, source, potabilité.

IMPACTS OF ANTHROPIC ACTIVITIES ON THE QUALITY OF WATER FROM SOURCES FROM THE CIRQUE ROUGE SITE OF MAHAJANGA

Abstract: Cirque rouge located in Mahajanga, classified as a protected natural heritage according to decree n°2010-722 of July 14, 2010, is a sedimentary geological formation of the Quaternary age. Several springs emerge there giving rise to small streams whose flow and power vary during the year. The choice of the study site is dictated by the fact that on the one hand it is an essential tourist site attracting many visitors who indulge in swimming downstream of the river, on the other the local residents use it as drinking water. As biological material object of study we took four samples of spring water, one upstream sacred place for traditional rites, two at intermediate points and one downstream of the river in order to check their potability. carried out through documentation, socio-economic surveys, physico-chemical and microbiological analyzes of the said water samples taken. The four most popular direct debit sources are all at first sight unsecured and unprotected. Visitors vary from 10 on normal days, about 50 during full moon period to 500 people per day during holidays. The population uses water from the source according to their needs. Overall, the organoleptic quality of all samples was excellent. However, their physico-chemical quality was unacceptable. In fact, source no. 4 has an excess of organic matter (2.8 mg/l). The pH of sources no. 1 (5.2); 2(5.55) and 3(5.75) is below the required standard. The turbidity of sources n° 1 and 3 was in excess with 10.5 and 14.8 NTU, it is the same for those of nitrite in the case of sources n°3 (0.88 mg/l) and 4 (0.55mg/l). Concerning the microbiological parameters, all the sources are contaminated except for that of n° 2. Source n° 1 was contaminated by total coliforms with 6 germs/100 ml. Sources No. 1; 3 and 4 contain faecal Streptococci whose load is greater than 1 germ, and Sulphite-Reducing Anaerobes exceeding 2 germs. In short, to conclude, the water samples from the sources of the Red Circus of Mahajanga prove to be undrinkable, with the exception of source no. 2 which was satisfactory. Source no. 3 was the most infected and polluted. As suggestions, preliminary treatments and adequate measures should be taken to remedy these imperfections.

Keywords: Red Circus of Mahajanga, germs sought, samples, microbiological quality, source, potability.

Digital Object Identifier (DOI): <https://doi.org/10.5281/zenodo.8052872>

I. INTRODUCTION

Depuis toujours, l'eau est indissociable à l'activité et à la vie humaine ainsi que aux autres êtres vivants. C'est un élément naturel indispensable (**Conseil du gouvernement, 1995**). Naturellement, l'eau se présente partout dans le globe terrestre; sous la croûte, à la surface et dans l'atmosphère. Chaque être vivant utilise l'eau selon leurs pouvoirs naturels.

La plus utilisée est l'eau douce qui se répartit à la surface du globe terrestre et à l'intérieur de roches. Il s'agit de lac, rivière, puits et de l'eau de source. L'eau de mer est suffisamment utilisée, malgré le taux de salinité sauf pour les animaux et les végétaux qui sont déjà adaptés à la vie marine **THOMAS B. (2016)**. Malgré une pluviométrie moyenne estimée à 1632 mm, Madagascar connaît une insuffisance de ressources en eau dans plusieurs régions, insuffisance liée à la variation des conditions climatiques et géologiques d'une région à l'autre.

Madagascar est aussi parmi les pays en développement qui souffrent de manque d'accès en eau potable. Il y a de problème d'accès en eau potable dans plusieurs régions de la grande île. La ressource en eau est de plus en plus rare dans presque toutes les régions de Madagascar et particulièrement dans les régions du Sud et de l'Ouest du pays qui souffrent cruellement de cette rareté (**Madagascar - Code de l'eau (2001)**). Cette étude a pour objectif de contribuer à l'étude de la potabilité des eaux consommées par la population Malagasy. En mettant en évidence les caractéristiques physico-chimiques et aussi la présence des germes microbiologiques indicateurs de pollution.

SITE D'ETUDE

Le Cirque Rouge est caractérisée par une latitude 15° 38' 04,9" Sud et la longitude 46° 21' 12,1" Est. Il est à 1,16 Km de l'entrée du Grand Pavois. Cette zone est un ancien delta de 1,8 million d'années, d'une superficie de 40 ha avec un relief accentué et la présence de cours d'eau permanents, c'est une des plus célèbres sites historiques de Mahajanga (<http://t/les-sites-touristiques-du-boeny-cirque-rouge>). Il est situé au bord de mer de la plage du grand pavois entre la commune rurale de Belobaka, District de Mahajanga II et le Fokontany Amborovy, commune urbaine Mahajanga I.

II. MATERIELS ET METHODES

II.1. Collecte et exploitation des données

Des enquêtes ethnobotaniques ont été réalisées dans la Fokontany Amborovy. L'objectif visé était de savoir l'exploitation de la ressource en eau dans ce site. Ainsi les

informations concernant le site traditionnel et la réalisation de certaines coutumes liées aux relations complexes entre l'Homme, la Nature et les Ancêtres. La méthode adoptée était basée sur les interviews semi-directes. Les interviews étaient basées sur un canevas d'enquêtes.

II.2.METHODE D'ECHANTILLONNAGE

Quatre échantillons de sources d'eaux différents ont été prélevés du site cirque rouge de Mahajanga à Ambovo. Les échantillons ont été emportés à l'aide d'un flacon stériles de 500 ml numérotés chaque source, enfin obtenir quatre échantillons différents. L'analyse a été réalisée dans un délai qui n'excède pas 24 h après prélèvement. Le prélèvement a été fait de l'amont en aval.

Analyse de l'eau

Analyse sensorielle

Les analyses sensorielles ont été réalisées sur site, afin de connaître quelques paramètres de l'eau comme l'aspect, la couleur, l'odeur et la saveur.

Analyses physico-chimiques

Au laboratoire, on procède aux analyses chimiques et physico-chimiques des échantillons. Cependant, le pH, la salinité, la conductivité, la turbidité et la température ont été mesurés à l'aide d'un appareillage. Les bicarbonates, les chlorures, le calcium, le magnésium et la dureté totale ont été réalisés par titrimétrie ainsi que l'ammonium, les nitrates, nitrites, sulfates, phosphates et fluorures ont été déterminés par un spectrophotomètre conformément aux méthodes recommandées par Rodier (2009).

Analyses microbiologiques

Le tableau ci-dessous résume les différents milieux de culture utilisés.

Tableau 1 : Germes recherchés et milieux de culture respectifs utilisés

Germes	Milieux de culture	T° d'incubation	Durée d'incubation
Coliforme totaux	Lactose TTC Agar with Tergitol	37 °C	24 h
<i>Escherichia coli</i>	Lactose TTC Agar with Tergitol	44 °C	24 h
Streptocoques fécaux	Selective Agar acc to SLANETZ and BAARTLEY	37 °C	48

Analyses statistiques

L'Analyse en Composantes Principales a été réalisée sur les valeurs moyennes des paramètres physico-chimiques caractérisant les quatre échantillons étudiés. Cette analyse a été permet de faire ressortir les corrélations existantes entre les différents paramètres de l'eau.

III.RESULTATS

III.1.Résultats des enquêtes socio-économiques

Site et source d'eau

La première source coule jusqu'à la rivière tandis que la deuxième source fait partie intégrante d'un endroit sacrée à des fins rituelles pour ses adeptes. La troisième source est destinée à l'eau de consommation des riverains alors que la quatrième source la plus fréquentée par les visiteurs sert de lieu de baignade.

Utilisateurs du site et nombre des visiteurs

Le tableau 2 récapitule la répartition des visiteurs selon les saisons et leur provenance.

Tableau 02. Représentation du nombre des visiteurs du site

Saisons	Visiteurs (estimation)	Pourcentages
Jours normaux	10 à 30	3 %
Pleine lune (1 à 2 semaines)	Environ 50	9 %
Vacances (fin juillet à début octobre)	Environ 500	88 %

III.2.CARACTERISTIQUES DE L'EAU

Caractéristiques organoleptiques

Ces paramètres indiquent l'ensemble des caractéristiques mettant en jeu des récepteurs sensoriels à savoir l'aspect, l'odeur, la couleur et le goût. Le tableau 3 relate les différents paramètres organoleptiques des quatre sources étudiées.

Tableau 03. Paramètres organoleptiques

Paramètres	Examen au laboratoire				Norme de potabilité malagasy
	Source 1	Source 2	Source 3	Source 4	
Aspect	Limpide	Limpide	Limpide	Limpide	Limpide
Odeur	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Couleur	Incolore	Incolore	Incolore	Incolore	Incolore
Saveur désagréable	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

Caractéristiques physico-chimiques

Dans le **tableau 05** ci-après sont relevés les différents paramètres physico-chimiques des échantillons issus quatre sources de prélèvement.

Tableau 5 : Caractéristiques physico chimiques des eaux de différentes sources.

Paramètres	Sources				Normes
	1	2	3	4	
Dureté TH, en °f	1	0,90	2,40	2,40	<50
Dureté Calcique TH _{Ca} , en °f	0,40	0,50	0,80	1,10	-
Dureté Manganèse THM _g , en °f	0,60	0,40	1,60	1,30	-
Titre alcalimétrie TA, en °f	0	0	0	0	-
TA Complet TAC, en °f	0,40	0,60	1,20	2,80	-
Matières organiques, en mg O ₂ /l	1,10	1,30	2,80	2	<2
Température	24,80	24,30	25	25	20 à 25
Turbidité, en NTU	10,50	0,68	14,80	4,36	<5
pH	5,20	5,55	5,75	6,92	6,5 à 9 6,5 à 9,5 *
Conductivité, en µs/cm	38,50	46	59,40	71,50	<3 000
Minéralisation, en mg/l	36	42	55	66	-

Compositions chimiques

Teneur en cations

Les teneurs se trouvent dans la figure 2

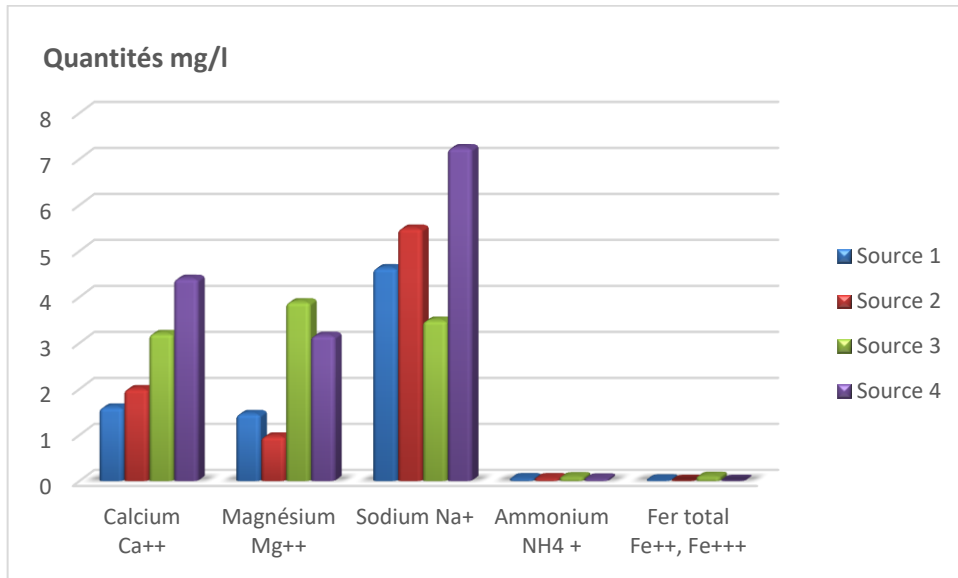


Figure 02. Teneur en cations des échantillons

Teneur en anions

Les teneurs en anions sont représentée dans la figure .03 ci-dessous.

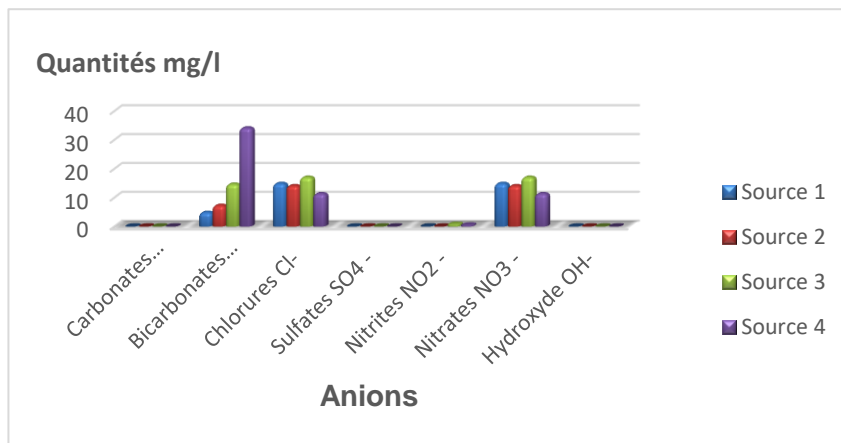


Figure 03. Teneur en anions des échantillons

III.3. Analyses statistiques

Analyses en composantes principales (acp)

Corrélations entre les paramètres physico-chimiques des quatre sources de l'eau du cirque rouge.

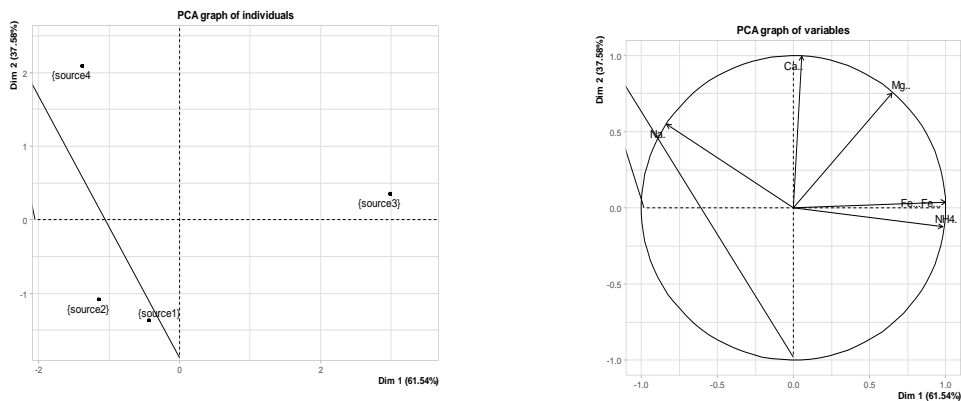


Figure 4. Cercle des corrélations Dim 1- Dim 2

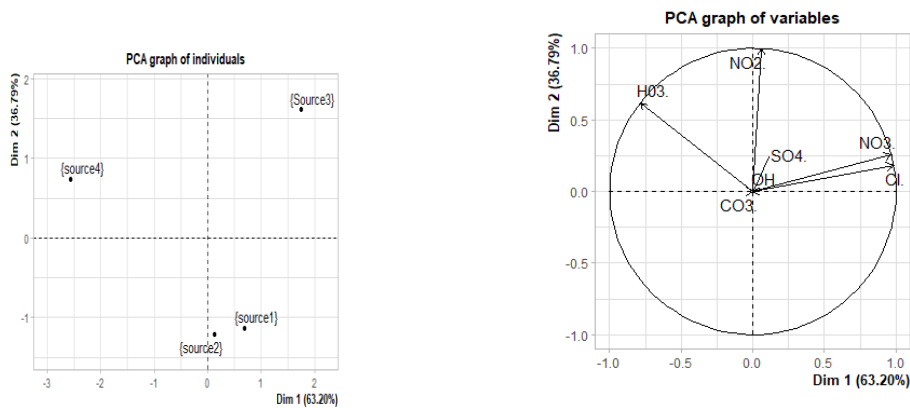


Figure 5. Cercle des corrélations Dim 1- Dim 2

III.4. Qualité microbologique de l'eau.

Les quatre germes présents dans les échantillons sont des indicateurs de pollutions.

Germes de Contaminations	Caractéristiques des germes obtenus	Sources				Norme de potabilité malagasy
		1	2	3	4	
Coliformes totaux	Colonie jaune	6	<1	<1	<1	<1
<i>Escherichia coli</i>	Colonie jaune	<1	<1	<1	<1	<1
Streptocoques fécaux	Colonie rouge violacé	1x10 ³	<1	4,6x10 ¹	4,8x10 ⁴	<1
Anaérobies sulfito-réducteur	Colonie noire	1x10 ¹	<1	5x10 ¹	4,4x10 ¹	<2

Tableau 3. Germes indicateurs de pollutions dans l'échantillon

IV.DISCUSSION

Au cours de l'année, le nombre de visiteurs varie avec les saisons. Il est entre 10 à 30 personnes pendant les jours normaux parce que seuls les riverains se rendent sur le site pour leurs activités journalières. Ce chiffre s'élève jusqu'à 50 personnes pendant la pleine lune pour l'accomplissement des us et coutumes ainsi que les rituels sur les lieux sacrés. Durant les mois de vacances, les visiteurs affluent aussi le nombre augmente jusqu'à environ 500 personnes.

L'interprétation de la qualité physico-chimique de l'eau se base sur la norme de potabilité malagasy (**JIRAMA, 2007**). Plusieurs paramètres n'y répondent pas. La turbidité d'échantillon n° 1 (10,5 NTU) et d'échantillons n° 3 (14,8 NTU) est supérieure à la norme à respecter. Cet excès de la turbidité est dû à la nature de la source, il est en relation avec la fréquentation humaine et / ou animale (**Robert J., 2011**). Cela entraîne, l'augmentation de taux de matières en suspension dans les deux(02) sources.

Les échantillons de la source n° 1, 2 et 3 ont respectivement des pH 5,2 ; 5,55 et 5,75. Cette acidité est due certainement à l'eau de pluie chargée de CO₂. Les pH sont tous inférieurs à la norme requise à Madagascar entre 6,5 à 9 et celle de l'OMS comprise entre 6,5 à 9,5 (**JACQUES B., 2003**). Cela signifie que l'eau de ce site est légèrement acide sauf dans le cas de l'échantillon n° 4. Il est lié à la nature du terrain qui est majoritairement argileux et sableux ainsi qu'à l'infiltration de l'eau jusqu'à la source de prélèvement.

Au sujet de la minéralisation de l'eau des sources, celles du cirque rouge sont très peu minéralisée. Les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction de la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration, du temps de contact de l'eau avec les minéraux (**JACQUES B., 2003**).

La qualité d'une eau souterraine est caractérisée par les concentrations en ion ions à charge négatif (cations) et à charge positif (anion). Les résultats obtenus renseignent que tous les échantillons sont conformes à la norme requise sauf dans le cas de nitrite pour la source n° 3 et 4. Cet excès de nitrite pourrait se justifier par l'existence des résidus végétaux, la divagation animale telle les zébus ainsi que la fréquentation humaine dans les sites.

L'Analyse en Composantes Principales réalisée sur les paramètres physico-chimiques confirment une corrélation entre la conductivité et les ions en solution. L'axe 2 est fortement corrélé du côté négatif avec le fer (Fe⁺⁺) et ammonium (NH₄⁺) et corrélé du côté positif Carbonates (CO₃⁻) Sulfates (SO₄⁻) Nitrites (NO₂⁻), Hydroxyde (OH⁻) dans le cercle de corrélation. Cet axe exprime moins la minéralisation de l'eau comparativement à l'axe 1. L'ammonium et le sodium sont moins corrélés.

Ces corrélations reflètent l'influence de chaque paramètre dans la minéralisation de l'eau souterraine de cirque rouge.

Les analyses microbiologiques montrent la présence des germes coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux et *E. coli* dans les sources d'eau à l'exception de celle n° 2. Dans les eaux, de surface aussi bien que souterraines, la présence des bactéries de contamination fécale humaine ou animale sont des indicateurs de pollution. La présence des spores des anaérobies sulfite-réducteurs dans une eau naturelle fait penser à une contamination fécale, à une contamination ancienne (**Rodier Jet et al., 2009**)

. Les coliformes totaux sont présents dans la source n°1 avec une quantité de 6 germes/100 ml. *E. Coli* est absent dans tous les échantillons.. Les charges de Streptocoques fécaux dans trois sources sont non conformes à la norme. En effet elles sont en quantité supérieure aux normes dans la source n° 1 ; 3 et 4 respectivement de 1×10^3 ; $4,6 \times 10^1$ et $4,8 \times 10^4$ colonies dans 100 ml. Ces pollutions pourraient s'expliquer par la défécation à l'air tant par les animaux que les riverains.. Les streptocoques fécaux sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal (**Moll D, 2008**).

Les charges en anaérobies sulfite-réducteur - une bactérie tellurique sont non satisfaisantes dans les sources n° 1; 3 et 4. Elles sont supérieures à la norme respectivement de 1×10^1 ; 5×10^1 et $4,4 \times 10^1$ colonies d'ASR dans 20 ml d'eau. Cette contamination peut être causée par la pollution du sol.

CONCLUSION

Le cirque rouge de Mahajanga est une importante source d'eau claire et fraîche. Il s'agit de l'eau de source destinée à plusieurs usages et attire plusieurs visiteurs par jours dans le site. Du point de vue organoleptique, l'eau du cirque rouge est de bonne qualité concernant l'odeur, la saveur, la couleur et l'aspect. La température des échantillons prélevés est bien respectée selon la norme. La dureté totale ainsi que l'alcalinité de l'eau issue de la source du prélèvement sont toutes comprises entre la valeur minimale et les valeurs maximales autorisées. La conductivité est aussi inférieure à la valeur autorisée. La minéralisation des sources aussi est faible ou proche de la normale. Concernant les cations, tous les ions négatifs sont conformes aux normes. Il n'y a aucun risque aux maladies liées à l'ammoniac et au sodium. Toutefois, les anions ne sont pas conformes aux normes. Il n'y a aucun risque sur les infections liées à la nitrate, au chlorure et au sulfate. La consommation des sources n° 3 et 4 peut provoquer un mauvais transfert d'O₂ vers les cellules.

Concernant les cations, tous les ions négatifs sont conformes aux normes. Il n'y a aucun risque aux maladies liées à l'ammoniac et au sodium. L'eau a une excellente qualité si on regarde le taux de fer dans l'échantillon. Le calcium et le magnésium sont en bonne quantité. Le taux de calcaire de la région n'affecte pas l'eau de ce site. La présence de la mer très proche des sources ne change pas et n'a aucune intervention avec le taux de sodium dans l'eau.

Dans le cas des trois sources parmi les 4, le risque de contamination lié aux germes sont très fréquent. *E. coli* est absent dans toutes les sources analysées. L'échantillon n° 1 est contaminé par le germe de coliformes totaux avec 6 germes par 100 ml tandis que les échantillons n° 1, 3 et 4 sont infectés par les streptocoques fécaux avec 1×10^3 , $4,6 \times 10^1$ et $4,8 \times 10^4$ colonies de germes par 100 ml d'eau, et l'Anaérobie-sulfite-réducteur avec des charges respectivement de 1×10^1 , 5×10^1 et $4,4 \times 10^1$ colonies de germes dans 20 ml d'eau. D'après l'analyse, seule la source n° 2 est propre à la consommation, conforme à la norme requise du point de vue microbiologique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

JACQUES B. (2003). -Qualité et pollution des eaux souterraines. -. (Dernière mise à jour : 23 juin 2003) [En ligne]. Disponible sur : < <http://u-picardie.fr>. > (Consulté le 12 juillet 2017), 5p.

JIRAMA (2017). -Norme de potabilité malagasy. -Décret n°2004-635 du 15 juin 2004.

Lenntech B.V. (2017). -Normes de l'OMS sur l'eau potable : Les lignes directrices de l'OMS en ce qui concerne la qualité de l'eau potable, mises à jour en 2006 sont la référence en ce qui concerne la sécurité en matière d'eau potable. - Rotterdamseweg 402 Mo : 2629 HH Delft. -1998- 2017.

Madagascar - Code de l'eau (2001), 15P. [En ligne]. Disponible sur : < www.Droit-Afrique.com > (Consulté le 22 août 2017).

Robert J. (2011) -Eau et assainissement : Normes de potabilité de l'eau : In Top Environnement (Bob ou 3ème émission). -4p.

THOMAS B. (2016). - Séquence 1 : Comment identifier les éléments d'un paysage local : Le cirque rouge. (Dernière mise à jour : 31 mai 2017) [En ligne]. Disponible sur : <http://svt.acreunion.fr/ressources/regionales/site_apoi/apoi5/accueil5.htm > (Consulté le 28 juin 2017), 1p.