

APPLICATION DES METHODES STATISTIQUES SUR LES ETUDES QUALITATIVE ET COMPARATIVE DES EAUX DE SURFACES (RIVIERE BEALANANA ET LAC BEDINTA) EN VUE D'UNE PROPOSITION DE NOUVELLE SOURCE D'EAU DE CONSOMMATION DANS LA COMMUNE URBAINE DE BEALANANA, REGION SOFIA, MADAGASCAR



APPLICATION OF STATISTICAL METHODS ON QUALITATIVE AND COMPARATIVE SURFACE WATER STUDIES (BEALANANA RIVER AND BEDINTA LAKE) FOR A PROPOSAL FOR A NEW SOURCE OF DRINKING WATER IN THE URBAN COMMUNE OF BEALANANA, SOFIA REGION, MADAGASCAR

| Jaofara *^{1,2,3,4} | Rasoarivola Robertine ¹ | Bisoa Victor ^{1,2} | Razafitsiferana Théophile ¹ | et | Lehimena Clément ¹ |

¹. Université d'Antsiranana | Faculté des Sciences | Laboratoire de chimie | BP : O, 201, Antsiranana | Madagascar |

². Centre hospitalier Universitaire d'Antsiranana | Laboratoire de CHUPK Place Kabary | 201, Antsiranana | Madagascar |

³. SOCIETE GREENMADAG SARL | Laboratoire GREENMADAG, Lot II 0316 ML Manongalaza | 201, Antsiranana | Madagascar |

⁴. Société BushProof SARL | Laboratoire BushProof, Lot 21A Antanetibe-Maibahoaka | BP: 182, 101 Antananarivo | Madagascar |

| Received 10 May, 2022 |

| Accepted May 15, 2022 |

| Published May 20, 2022 |

| ID Article | Jaofara-Ref02-ajira130522 |

RESUME

Introduction et Contexte : De nos jours, l'accès en eau de consommation devient de plus en plus difficile. Madagascar est l'un des pays les plus touchés par ce phénomène. La commune urbaine de Bealanana est parmi des nombreuses villes Malagasy qui se trouve actuellement au milieu de problème de ressource d'eau de consommation. **Objectif :** L'objectif de notre étude est de trouver pour cette ville une ressource fiable en eau de consommation. **Matériel et Méthodes :** Nos études qualitative et comparative ont été faites suivant trois périodes différentes à savoir saison de pluie 2021, saison sèche 2021 et saison de pluie 2022. Durant nos études, nous avons analysé 20 paramètres physico-chimiques et 5 germes bactériologiques. Les paramètres physico-chimiques étudiés sont: pH, CE, TDS, T°, Turb, couleur, Odeur, MES, TH, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, Al, SiO₂, Mn, Fe et O₂ et TAC. Les germes bactériologiques étudiés sont : germes totaux (GT), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), entérocoques intestinaux (EI), E-coli et Clostridium sulfite-réducteurs (CSR). **Résultats :** Les résultats d'analyse sur les paramètres physico-chimiques montrent qu'un grand nombre de ces éléments ne sont pas intégrés dans la norme exigé par l'OMS surtout ceux de la rivière de Bealanana. Mais d'autres éléments comme T, pH, O₂, TDS, CE répondent bien à la qualité d'eau destinée à la consommation humaine. La méthode statistique (ACP) met en exergue que les résultats de l'année 2021 et 2022 permettent d'identifier les variables potentiellement intéressantes à la modélisation. L'Observation sur axes F1 et F2 présente 85,95 % d'information. Elle montre que la qualité de l'eau de la rivière Bealanana varie selon la saison tandis que celle du lac Bedinta reste presque uniforme d'une saison à l'autre. Du point de vue bactériologique, les sites étudiés présentent une forte contamination bactériologique en GT et CT. Par saison, le nombre de germes de rivière de Bealanana est presque deux fois supérieur à celui de lac Bedinta. Le CSR ne présente aucun cas de contamination dans tous les échantillons. L'apparition de signe de contamination fécale a été remarquée sur la rivière de Bealanana pendant la saison de pluie 2021 (2 UFC/ mL). Nos études ont révélé que la meilleure qualité pour la rivière Bealanana a été observée en saison sèche 2021 alors que pour le lac Bedinta, elle a été enregistrée en saison de pluie 2022. **Conclusion :** Les études comparative et qualitative de ces deux sources montrent bien que le lac Bedinta peut être utilisé comme une ressource d'approvisionnement d'eau de consommation du point de vue de sa qualité par rapport à celle de la rivière Bealanana.

Mots clés : Rivière, lac, qualité, comparaison, physico-chimie, bactériologie, ACP et ressource

ABSTRACT

Introduction and Context: Nowadays, access to drinking water is becoming more and more difficult. Madagascar is one of the countries most affected by this phenomenon. The urban municipality of Bealanana is among the many Malagasy towns which is currently in the midst of a problem of drinking water resources. **Objective:** The objective of our study is to find a reliable source of drinking water for this city. **Material and Methods:** Our qualitative and comparative studies were carried out according to three different periods, namely the 2021 rainy season, the 2021 dry season and the 2022 rainy season. During our studies, we analyzed 20 physico-chemical parameters and 5 bacteriological germs. The physico-chemical parameters studied are: pH, EC, TDS, T°, Turb, color, Odor, MES, TH, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, Al, SiO₂, Mn, Fe and O₂ and TAC. The bacteriological germs studied are: total germs (GT), total coliforms (CT), faecal coliforms (CF), intestinal enterococci (EI), E-coli and sulphite-reducing Clostridium (CSR). **Results:** The analysis results on the physico-chemical parameters show that a large number of these elements are not integrated into the standard required by the WHO, especially those of the Bealanana river. But other elements such as T, pH, O₂, TDS, CE respond well to the quality of water intended for human consumption. The statistical method (ACP) highlights that the results for the year 2021 and 2022 make it possible to identify the variables potentially of interest for modeling. Observation on axes F1 and F2 presents 85.95% information. It shows that the water quality of the Bealanana River varies seasonally while that of Lake Bedinta remains almost uniform from season to season. From the bacteriological point of view, the sites studied present a strong bacteriological contamination in GT and CT. By season, the number of river sprouts of Bealanana is almost twice that of

Lake Bedinta. The CSR does not present any cases of contamination in all the samples. The appearance of signs of faecal contamination was noticed on the Bealanana River during the 2021 rainy season (2 CFU/mL). Our studies revealed that the best quality for the Bealanana River was observed in the dry season 2021 while for Lake Bedinta, it was recorded in the rainy season 2022. **Conclusion:** The comparative and qualitative studies of these two sources clearly show that Bedinta Lake can be used as a drinking water supply resource in terms of its quality compared to that of the Bealanana River.

Keywords: River, lake, quality, comparison, physico-chemistry, bacteriology, ACP and resource

1. INTRODUCTION

L'eau est un élément indispensable et irremplaçable pour la vie et pour le développement socioéconomique réel et durable d'un pays. Cependant, elle peut être aussi une source de maladie [1]. L'utilisation d'une eau non potable et le manque d'assainissement et d'hygiène sont la 6^{ème} cause de décès dans le monde, principalement par des maladies diarrhéiques [2]. Il est donc nécessaire d'avoir une meilleure ressource en eau de consommation. Un grand nombre de région ou ville ou bien village dans le monde entier rencontre le problème d'eau aussi bien en qualité qu'en quantité. A Madagascar, la société JIRAMA est une société monopole responsable de l'alimentation en eau de consommation. Dans la ville urbaine de Bealanana, la JIRAMA a utilisée différentes successives ressources en eau de consommation (deux fois souterraine, et une fois étang). Mais depuis 2018 jusqu'à ce jours, elles sont non opérationnelles. Au moment où l'on parle, la ville de Bealanana souffre du problème d'eau de consommation. Depuis l'année 2018, la principale source d'eau de consommation dans cette ville est l'eau des puits. Mais sa quantité reste à désirer surtout dans la période d'étiage. C'est la raison pour laquelle la population locale fait recourt à l'utilisation d'eau de rivière de Bealanana pour toute sorte de besoin. Or la qualité de l'eau de cette rivière n'a jamais été sérieusement étudiée.

Dans la plupart des pays en voie de développement y compris Madagascar, le contrôle et le suivi de la qualité des eaux de surface utilisées pour la production des eaux de consommation ne sont pas systématiques [3]. L'objectif de notre étude est d'évaluer la qualité des eaux de surface (Rivière de Bealanana et lac Bedinta) par analyses physico-chimiques et bactériologiques afin de tirer une conclusion sur la ressource en eau de consommation de la population de la commune urbaine de Bealanana. Le lac Bedinta peut-il être exploité comme ressource en eau de consommation?

2. MATERIELS ET METHODES

2.2. Historiques et ressources en eau de la commune urbaine de Bealanana

La commune de Bealanana a été urbanisée en 2019. Le district de Bealanana est le premier producteur du riz, d'arachide et du haricot de la région SOFIA. Il produit environ 9% de riz à Madagascar. Il ravitaille en pourcentage élevé les districts d'Antsohihy et Analava, les régions DIANA et SAVA. Le district de Bealanana dispose beaucoup de réserves naturelles comme sources thermale, des forêts vierges, des parcs,... C'est également le seul district, de Madagascar et dans le monde entier, qui arbitre encore la célèbre nidification de Fuligule de Madagascar « Aythya inotta ». Cette espèce est déjà considérée comme disparaître depuis plusieurs années [4; 5]. Plus précisément, dans le plus beau lac de Madagascar s'appelle « Bemanevika ». d'espèces de canard sauvage. La commune urbaine de Bealanana accueille de nombreux étrangers surtout dans la période sèche. Elle dispose beaucoup de ressources en eau de consommation exploitable (Lac, rivière, eau souterraine). Malgré cela, la population locale de la ville urbaine de Bealanana souffre de la crise en eau en toute période. La société JIRAMA (JIro sy RAno Malagasy) est la seule société responsable d'approvisionnement en eau à Madagascar. Dès l'année 1990, la JIRAMA a utilisé la ressource d'eau souterraine dans le quartier de Bealanana IV comme source d'eau de consommation. D'une raison inconnue, cette source est abandonnée. Dès année 2000, la JIRAMA a utilisé l'eau de petit étang (en relation avec rivière de Bealanana). Lors de la sédimentation de cette rivière, les canaux sont bouchés. En 2010, la JIRAMA a réutilisé une ressource d'eau souterraine de Bealanana IV. D'une raison inconnue, cette source est encore bloquée. Dans ces différentes ressources, l'eau n'a jamais été traitée. Actuellement, la population locale utilise des puits (collectifs et individuels) comme source l'eau de consommation. Cependant ces puits ne satisfont pas leurs besoins surtout en période d'étiage. C'est la raison pour laquelle un grand nombre de populations locales font recourt à l'utilisation de rivière de Bealanana en toute sorte de Besoin.

Du mois d'avril au mois de décembre, 50% à 70% de citoyens utilisent cette rivière comme eau de bain. Sur cet intervalle, 30% à 60% de citoyens des quartiers Bealanana I, Bealanana II et Bealanana III utilisent cette rivière comme eau de consommation. Seul les habitants de la ville très éloignés de la rivière et qui ont accès à d'autres sources d'eau, n'utilise pas cette rivière.

Rivière de Bealanana : elle passe dans plusieurs Fokontany (villages) notamment Antambato, Ambinanindrano, Ambodihintsakintsana, Ambodisatrana, Antanambao et dans la commune urbaine de Bealanana. Dans la ville de Bealanana, elle limite la ville dans la partie Sud et elle sépare aussi les quartiers Bealanana I et Bealanana II.

2.1. Zone d'étude

Bealanana se trouve dans la région SOFIA, province Majunga et pays Madagascar. Bealanana est un district et la commune urbaine de Bealanana est le chef-lieu de ce district. La ville de Bealanana se situe en latitude 14°32'36.63S et longitude 48° 44'66.10E. Dans cette commune, trois sites ont été étudiés à savoir la rivière de Bealanana en

amont (RB Am), la rivière de Bealanana en aval (RB Av) et le lac de Bedinta (LB). La figure et le tableau ci-après présentent la localisation de zone d'étude et les coordonnées de station des prélèvements.



Figure 1: Présentation de zone d'étude et présentation des sites d'études

Tableaux 1: Le tableau montre les Coordonnés géographique des sites d'études.

	RB Am	RB Av	LB
Latitudes	14°32'41.96 S	14°32'40.47 S	14°32'41.44 S
Longitudes	48°45'25.74 E	48°44'19.28 E	48°44'38.19 E

2.3. Climatologie

La pluie est un facteur essentiel qui caractérise le climat d'une région, elle joue un rôle prépondérant dans le comportement hydraulique des cours d'eau et dans l'alimentation éventuelle des nappes souterraines [6]. En plus de différente sorte de pollution, la variation climatique a aussi un grand effet sur la qualité de l'eau. Dans la période accrue, l'eau est dilué mais il existe différente sortes de pollutions se déversent dans l'eau. Dans la période d'étiage, la concentration des éléments dans l'eau issue de croute terrestre devient plus intense. D'après les paysans, au cours des 20 dernières années, le début de la saison des pluies est retardé à décembre au lieu de novembre et cette saison serait moins longue. La température aurait augmenté, permettant de faire du *vary jebby* (riz contre saison) et du haricot de contre saison [7]. Dans le district de Bealanana, la période d'accrue débute du mois de décembre et se termine au mois de mars. La précipitation moyenne est estimée à 160 mm par mois. Pour la période d'étiage, elle débute du mois d'août et se termine au mois de novembre. Sur cette période, la précipitation moyenne est estimée à 25 mm par mois [8].

2.4. Prélèvements

Pour avoir une ample information, les prélèvements d'eau ont été effectués en 3 périodes différentes. Ils ont été effectués pendant deux saisons d'accrues correspondantes aux mois de mars 2021 et 2022, puis dans une saison d'étiage correspondante à la saison sèche au mois d'août 2021. Pendant ces périodes, 15 échantillons ont été analysés dont 9 échantillons pour les paramètres physico-chimiques et 6 échantillons pour les paramètres bactériologiques.

Pour les paramètres physico-chimiques et bactériologiques, les échantillons ont été prélevés respectivement dans des bouteilles plastiques d'eau minérale de 1,5 L et flacons stériles de 1 L puis acheminés aux laboratoires d'analyse à l'aide de glacière chargé de la glace.

2.5. Analyses

2.5.1. Les paramètres physico-chimiques

Le pH et la température ont été mesurés "*in situ*" grâce à un pH-mètre portatif (PH/TEMP, marque WATERPROOF). Le TAC, TH, Ca^{2+} et Mg^{2+} ont été mesurés par titrimétrie tandis que la silice et la couleur ont été déterminés par un spectrophotomètre de type Spectroquant Pro 300. Le TDS et CE ont été analysé à l'aide de l'appareil conductimètre, marque Mettler Toledo. Le Fer, PO_4^{3-} , MES, Al, et Mn ont été analysés à l'aide de l'appareil colorimètre DR 890, marque HACH. Les Nitrites (NO_3^-) et nitrates (NO_2^-) ont été analysés par kit nitrites et nitrates de marque

MQuant™. La turbidité a été mesurée à l'aide de l'appareil Turbidimètre pocket II, marque Lovibond. L'oxygène dissous (O₂) a été déterminé à l'aide de l'appareil Oxymètre waterproof, marque Humeau. F-, As, Zn et Cu²⁺ ont été analysés en une seule fois en saison de pluie dans l'échantillon de la rivière de Bealanana. Les méthodes spectrométrie visible et spectrométrie-Balance électronique ont été appliquées. Les analyses ont été effectuées selon les méthodes d'analyse de Rodier, 2009. Traitement des données : les données physico-chimiques ont été traitées par la méthode statistique. Elle a pour but de mesurer et de présenter les données observées d'une manière telle qu'on puisse en prendre connaissance aisément, par exemple sous forme de tableaux ou de graphiques. Les études statistiques ont été basées sur l'analyse en composante principale (ACP) et Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) par un Logiciel XLSTAT 2016.02.27444.

2.5.2. Les paramètres bactériologiques

Une connaissance de la présence de l'agent pathogène dans les eaux de source est essentielle car elle facilite la sélection de la source de la meilleure qualité pour l'approvisionnement en eau de boisson, elle permet de déterminer les concentrations d'agents pathogènes dans les eaux de source et constitue une base pour fixer les traitements nécessaires afin d'atteindre les objectifs sanitaires dans le cadre d'un plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau [7]. Après avoir stérilisé les matériels nécessaires, on a incorporé dans une boîte de pétrie 1 mL d'échantillon avec les milieux de culture puis incubé dans une étuve thermostatée. Les milieux de culture utilisés et la condition d'incubation sont: milieu nutritif Agar pour la recherche des germes totaux (GT) avec une incubation à 28°C pendant 96 h, milieu de M-ondobross pour la recherche des Coliformes totaux (CT) et Coliformes fécaux (CF) avec une incubation respectivement à 37°C et à 44°C pendant 24h, milieu slaneltz bartley pour la recherche entérocoques intestinaux (EI) avec une incubation à 44°C dans 48h, milieu MFC pour la recherche des *E-coli* avec une incubation à 37°C pendant 48h et milieu Viande foie pour la recherche des Clostridium sulfito-réducteurs (CSR) avec une incubation à 37°C pendant 24h. Après la limite d'incubation, on compte les colonies qui poussent sur ces géloses et on donne les résultats en nombre de bactéries par mL d'eau. La méthode de Rodier 2009 (9^{ème} édition) a été utilisée.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultat des paramètres physico-chimique

3.1.1. Analyse descriptive statistiques des résultats

❖ pH

Le pH détermine l'acidité ou basicité d'eau. Sa valeur varie suivant le type d'eau et de son environnement. Selon l'OMS, l'intervalle de pH d'eau de consommation comprise entre 6,5 à 8,5. Hors de cet intervalle, l'eau n'est pas bonne à la consommation. Durant les périodes d'analyses, les résultats de pH sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 2: Résultat de pH dans les sites d'études.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	pH	6,42	6,58	6,52	0,09	6,5 – 8,5
RB Av	pH	6,38	6,78	6,57	0,20	
LB	pH	6,07	6,33	6,22	0,13	

Les eaux de surface ont des caractères acides. Toutes les valeurs de pH (minimale, maximale) sont toujours inférieures à 7. En comparant avec la norme, les valeurs du pH moyennes des rivières de Bealanana en amont et en aval (RB Am, pH=6,52 ± 0,09 et RB Av, pH=6,57 ± 0,20) sont incluses dans la norme. Mais la valeur moyenne du pH (6,22 ± 0,13) de lac Bedinta est inférieure à la norme. Donc sur ce point, la qualité de rivière de Bealanana est bonne et suit la norme par rapport au lac Bedinta.

❖ Température (T)

La température est l'un de facteur de multiplication ou suppression des microbes dans l'eau. Donc on peut dire que la température de l'eau a une influence directe sur sa qualité. Sur la norme d'eau de consommation humaine, la limite maximale donnée par l'OMS est de 25°C. Le tableau suivant présente la température des eaux étudiées.

Tableau 3: Température (°C) des eaux étudiées

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	T	18,50	22,75	20,88	2,17	25°C
RB Av	T	18,20	22,60	20,77	2,29	
LB	T	17,50	21,90	20,20	2,36	

D'après ce tableau, toutes les valeurs sont inférieures à la limite maximale. Donc on peut dire que la température des eaux de surface est normale. Suivant les valeurs moyennes, minimales et maximales, les valeurs de température du lac Bedinta sont toujours inférieures aux rivières de Bealanana. Ainsi on peut dire que, du point de vue de la valeur de la température, la qualité de l'eau du lac Bedinta est très bonne que les eaux de rivière Bealanana. La température a une influence directe sur l'oxygène dissous. Si la température est élevée, la quantité d'oxygène dissous diminue.

❖ Oxygène dissous (O₂)

L'oxygène dissous est un facteur essentiel à la vie aquatique, en particulier aux organismes assurant l'autoépuration des rivières, ce qui fait de cet élément un bon indicateur de pollution d'un cours d'eau et du suivi de son autoépuration [10].

La présence en quantité souhaitable en oxygène dissout est la première condition de vie des êtres vivants (terrestre ou aquatique). En absence d'oxygène dissout, la vie est impossible pour les être aérobie. Dans l'eau de consommation, sa présence est largement exigée. Selon OMS, la valeur minimale d'oxygène dissous pour l'eau de consommation est de 5 mg/L. Le tableau suivant résume les résultats d'analyses d'oxygène dissous dans les trois périodes d'études.

Tableau 4: Présentation des résultats d'oxygène dissous (mg/L) à chaque station d'étude.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	O ₂	8,50	10,06	9,19	0,79	Min 5 mg/L
RB Av	O ₂	8,19	10,30	9,07	1,10	
LB	O ₂	9,20	10,52	9,74	0,69	

D'après les résultats obtenus, par rapport à la Norme de l'OMS, les eaux étudiées sont de bonnes qualités. Toutes les valeurs sont toujours supérieures à la limite minimale. Par station, la quantité d'oxygène dissous dans le lac Bedinta est plus élevée. Sa valeur moyenne est de 10,52 ± 0,69 mg/L. Cette meilleure valeur correspond bien à la température la plus basse.

❖ Total solide dissous (TDS)

Le TDS désigne les éléments en dissolution pour former les anions et cations dans l'eau. Il a un effet direct sur la conductivité électrique. La connaissance de ce paramètre est très importante mais il n'a pas de norme précise. Les résultats d'analyse de TDS durant les trois périodes d'études sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 5: Présentation de TDS (en mg/L) dans les sites d'études.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	TDS	25,30	182,60	79,17	89,60	-
RB Av	TDS	23,10	180,04	77,11	89,17	
LB	TDS	10,97	14,25	12,46	1,66	

D'après ce tableau, la valeur moyenne de TDS de l'eau de lac Bedinta est largement faible par rapport aux rivières de Bealanana. Cette valeur indique que l'eau de ce lac est très peu minéralisée. Pour les rivières de Bealanana (amont et aval), ses valeurs moyennes sont respectivement 79,17 ± 89,60 mg/L et 77,11 ± 89,17 mg/L.

❖ Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique de l'eau est le pouvoir d'eau à conduire le courant électrique. Sa valeur dépend des quantités d'éléments chargés négativement et positivement dissous. Selon Rodier *et al.* (2005), la mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau [11]. Dans l'eau de consommation, elle n'a pas d'intervalle sur la valeur minimale mais l'OMS précise bien que la limite maximale est de 1000 µs/cm. Le tableau suivant présente les valeurs minimale, maximale et moyenne de conductivité électrique des stations étudiées.

Tableau 6: Présentation de CE (µs/cm) dans les eaux étudiées

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	CE	36,50	305,22	132,27	150,07	Max 1000 µs/cm
RB Av	CE	39,90	310,10	132,90	153,52	
LB	CE	18,93	27,12	23,55	4,20	

D'après ce tableau, les valeurs obtenues sont toujours inférieures à la valeur limite. Pour le lac Bedinta, sa valeur moyenne est de 23,55 ± 4,20 µs/cm. Donc elle est très basse. En se référant à l'information de Rodier et al en 2005, la quantité globale de minéralisation du lac Bedinta est très faible par rapport aux rivières de Bealanana. Dans l'ensemble, les eaux sont très douces.

❖ Matières en suspension (MES)

La présence énorme de quantités des matières en suspension (MES) entraîne leur sédimentation sur les canaux, ayant pour effet le colmatage des sols empêchant ainsi la circulation dans les tuyaux. Les matières en suspension sont l'un des paramètres chimiques étudiés dans la qualité de l'eau. Elles varient suivant la source d'eau. En général, les eaux de surface ont de MES plus élevé que les eaux de puits. Ce paramètre a une interdépendance avec les autres paramètres dans l'eau comme couleur, turbidité,... Malgré qu'elle soit très importante, elle n'a pas de norme précise.

Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Les résultats de nos analyses de ces eaux de trois périodes d'échantillonnage sont résumés dans le tableau ci-après.

Tableau 7: MES (mg/L) dans les sites d'études.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	MES	25,00	75,12	50,71	25,08	
RB Av	MES	32,00	64,00	46,33	16,26	-
LB	MES	5,00	8,00	6,67	1,53	

Les valeurs moyennes de MES par station sont $50,71 \pm 25,08$ mg/L pour RB Am, $46,33 \pm 16,26$ mg/L pour RB Av et $6,67 \pm 1,53$ mg/L pour LB. On voit ici que les valeurs moyennes pour les rivières Bealanana sont presque sept fois supérieures à celle du lac Bedinta (LB). Ces paramètres nous démontrent bien que la qualité de l'eau de lac Bedinta (LB) est très bonne par rapport à la qualité d'eau de rivière Bealanana.

❖ Turbidité (Tur)

La turbidité est un paramètre physique très important pour le contrôle de la qualité des eaux. Elle indique la transparence de l'eau. L'eau est trouble lorsque la quantité des MES est élevée. La turbidité est un paramètre qu'on peut voir à l'œil nu. Il n'a pas d'effet direct sur la santé mais sa présence, visible à l'œil nu, dans l'eau de consommation indique que l'eau est mauvaise. L'OMS précise bien que la quantité admissible pour l'eau de consommation est de 5 NTU. Le plus important effet lié à la santé qui caractérise la turbidité est probablement sa capacité de protéger les bactéries et les virus contre la désinfection [12].

Les résultats de nos études sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 8: Turbidité (NTU) des eaux de surface des rivières et la Bedinta Bealanana.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	Tur	39,40	92,72	60,30	28,47	
RB Av	Tur	12,75	96,90	52,12	42,34	5 NTU
LB	Tur	1,17	6,10	3,60	2,47	

Le tableau nous montre que les valeurs moyennes des stations de rivière de Bealanana (RB Am et RB Av) sont respectivement $60,30 \pm 28,47$ NTU et $52,12 \pm 42,34$ NTU. Ces valeurs sont largement supérieures à la valeur limite maximale exigée par OMS. Pour le lac Bedinta (LB), sa valeur moyenne durant les périodes d'études est $3,60 \pm 2,47$ NTU. Cette valeur est incluse dans la Norme de l'OMS. En comparant l'eau des stations de rivière de Bealanana à celle de l'eau de LB et la norme de l'OMS, RB Am et RB Av sont très mauvaise à la consommation et elles ne devraient pas être destinées à la consommation humaine.

❖ Couleur

Couleur, les MES et la turbidité sont des paramètres nécessaires pour la qualité d'eau. Ces trois paramètres ont une grande interdépendance. Elles peuvent être vu à l'œil nues. Elles n'ont pas d'effet direct chez le consommateur mais elles peuvent indiquer que l'eau a une qualité très mauvaise à la consommation humaine. La couleur a aussi une grande relation sur l'excès en fer (Fe). En quantité élevée en fer, l'eau devient rougeâtre. L'OMS recommande que l'eau à consommer ne doit pas avoir de couleur. Le tableau ci-après présente les résultats de nos études.

Tableau 9: Variation de couleur (UCP) dans les stations étudiées

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	Couleur	0,09	3,12	1,99	1,65	
RB Av	Couleur	0,05	2,90	1,85	1,57	Aucune couleur
LB	Couleur	0,00	0,80	0,27	0,46	

D'après les valeurs figurées sur le tableau, RB Am et RB Av ont des couleurs intenses. Leurs valeurs minimales sont tous supérieurs à zéro. Pour LB, les valeurs minimale et maximale sont respectivement 0,00 UCP et 0,80 UCP. La valeur moyenne est de $0,27 \pm 0,46$ UCP. Durant les trois périodes d'échantillonnages, seul l'échantillon de la dernière période présente une couleur moins visible. Pour l'eau de lac Bedinta, il y n'a qu'une couleur (légère couleur) qui apparaît dernier échantillon. Donc on peut dire que la qualité d'eau de LB est classée comme une bonne source.

❖ Calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}) et titre hydrométrique TH (en mg/L)

Dans l'eau de consommation, l'existence de calcium et magnésium est très exigée mais ses quantités doivent être limitées. Même si les valeurs minimales ne sont pas bien mentionnées par OMS, la valeur très basse de ces éléments entraîne la carence de ces éléments pour les consommateurs en permanence. Les valeurs limites maximales sont 200 mg/L pour le calcium (Ca^{2+}) et 50 mg/L pour magnésium (Mg^{2+}). L'ensemble de calcium et de magnésium forme un titre hydrométrique (TH). Le TH détermine la dureté de l'eau. OMS recommande que la valeur maximale admissible en TH soit de 500 mg/L (50^of). Pour éviter la carence des éléments minéraux, la réglementation algérienne préconise une valeur comprise de TH entre 100 mg/L à 500 mg/L de CaCO_3 (10 et 50 degré français °f) [13]. Le tableau suivant présente les valeurs de ces paramètres durant les périodes d'échantillonnages.

Tableau 10: Présentation des résultats de calcium, magnésium et titre hydrométrique.

Stations	Variables	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	Ca ²⁺	9,05	110,50	43,36	58,15	Max 200 mg/L
RB Av	Ca ²⁺	6,02	120,20	45,09	65,06	
LB	Ca ²⁺	15,00	25,00	20,00	5,00	
RB Am	Mg ²⁺	4,72	86,75	36,41	44,08	Max 50 mg/L
RB Av	Mg ²⁺	4,00	87,00	32,03	47,61	
LB	Mg ²⁺	12,00	24,00	18,00	6,00	
RB Am	TH	11,13	197,00	78,78	102,74	Max 500 mg/L
RB Av	TH	10,00	200,50	74,83	108,85	
LB	TH	24,00	40,20	34,73	9,30	

Les faibles concentrations de calcium et de magnésium indiquent que nous sommes en présence d'eaux douces acides. La valeur moyenne de TH de lac Bedinta est inférieure de la limite minimale. Ce qui indique que la consommation à long terme d'eau de lac Bedinta (LB) entraîne une carence en calcium et en magnésium. Les rivières de Bealanana présentent aussi des valeurs moyennes en TH inférieures à la limite minimale et ces valeurs incluent dans l'intervalle de la norme algérienne. Sur ce point, les eaux de rivières de Bealanana sont meilleures qualité que l'eau de lac Bedinta.

❖ Fer (Fe)

Le fer est indispensable pour le corps humain mais à très fortes concentrations, il affecte les propriétés organoleptiques de l'eau et tâche aussi le linge. En quantité élevée en fer, la couleur devient rougeâtre. Le fer affecte aussi la turbidité de l'eau. La valeur guide de l'OMS en fer total dans l'eau de boisson est 0,5 mg/L.

Tableau 11: Valeurs du fer (mg/L) dans les trois périodes de prélèvement.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	Fe	1,00	1,52	1,31	0,28	Max 0,5 mg/L
RB Av	Fe	0,50	1,45	1,13	0,55	
LB	Fe	0,52	0,83	0,69	0,16	

On voit ici que toutes les valeurs sont toujours supérieures à la limite maximale. Dans ce cas, les valeurs moyennes des stations RB Am, RB Av et LB sont respectivement $1,31 \pm 0,28$ mg/L, $1,13 \pm 0,55$ mg/L et $0,69 \pm 0,16$ mg/L. Ces valeurs moyennes nous montrent que l'eau de LB a trois fois et plus de fer par rapport à la norme de l'OMS et pour l'eau des stations de rivière de Bealanana. Ces valeurs sont six fois supérieures à la norme. Sur ce point, la qualité de ces eaux est mauvaise mais l'eau du lac reste encore la meilleure. La haute teneur en fer est attribuée à la caractéristique géomorphologique et pédologique du sol de la commune. Les sols ferrallitiques rouge et jaune-rouge qui caractérisent le site d'étude seraient à l'origine de la concentration élevée en fer des eaux de surface.

❖ Manganèse

On peut trouver le fer et le manganèse dans la croûte terrestre. Ces teneurs peuvent atteindre une valeur très élevée. Dans l'eau de consommation, l'excès en magnésium pose un grand problème pour une femme en cours d'allaitement. La Norme de l'OMS précise bien que la valeur limite maximale est de 0,05 mg/L. Le résultat de nos études est résumé dans le tableau ci-après.

Tableau 12: Valeur du manganèse (mg/L) durant l'étude.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	Mn	0,07	17,00	5,83	9,68	Max 0,05 mg/L
RB Av	Mn	0,06	17,10	5,79	9,79	
LB	Mn	0,00	0,03	0,01	0,01	

D'après les valeurs indiquées sur le tableau, les valeurs d'eau de rivière sont très variées. Les valeurs moyennes des deux stations de rivière sont onze fois supérieures à la norme. Par contre, la valeur moyenne de LB vaut $0,01 \pm 0,01$ mg/L. Elle est largement inférieure à la limite maximale donnée par l'OMS et seule la valeur du dernier prélèvement qui présente une valeur supérieure à zéro. En interprétant les valeurs du manganèse dans les deux sources, on remarque que la qualité d'eau de lac Bedinta (LB) est très bonne par rapport à la rivière Bealanana (RB). Donc la rivière Bealanana est très mauvaise.

❖ TAC

Le TAC détermine l'alcalinité d'eau. L'eau est fortement basique lorsque la quantité de TAC élevée. Il n'a pas de valeur guide mais la connaissance de leur teneur en eau de consommation est nécessaire. Il n'est pas un polluant, mais le système d'évaluation de la qualité des cours d'eau indique des seuils de variations pour l'utilisation en production d'eau potable et en tant qu'indicateur de la qualité de l'eau par altération [14]. Durant nos études, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 13: Valeurs de TAC (mg/L) dans les trois sites d'étude.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	TAC	2,56	7,02	4,57	2,26	
RB Av	TAC	2,00	7,00	3,67	2,89	-
LB	TAC	1,00	3,00	2,00	1,00	

Ce tableau montre que l'eau des stations de rivière Bealanana est plus basique que l'eau de lac Bedinta. Ce qui est en accord avec les données du pH auparavant. Les valeurs moyennes du pH de RB Am, RB Av et LB sont respectivement $6,52 \pm 0,09$; $6,57 \pm 0,20$ et $6,22 \pm 0,13$. Suivant les valeurs du TAC, les eaux des stations de RB ont une meilleure qualité que l'eau du LB.

❖ Silice

La silice est un élément qu'on peut trouver partout. Elle n'a pas de valeur guide mais son excès en eau de consommation indique que l'eau est mauvaise. Elle a une influence sur la conductivité électrique (CE). Les résultats d'analyses obtenus durant les trois périodes d'échantillonnage sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau 14: Résultats d'analyse de silice (mg/L) dans les trois sites d'étude.

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	Si	18,25	20,85	19,80	1,37	
RB Av	Si	18,72	20,99	19,92	1,14	-
LB	Si	10,95	12,50	11,67	0,78	

Les valeurs par station obtenues sur les rivières de Bealanana sont presque deux fois supérieures à la valeur trouvée sur le lac Bedinta.

❖ Phosphate (PO_4^{3-})

Le phosphate est comme la silice. Elle n'a pas de valeur guide mais sa présence en excès dans l'eau de consommation a un effet direct sur la valeur de conductivité électrique (CE). Le tableau suivant résume les valeurs obtenues en phosphate.

Tableau 15: Résultats d'analyse en phosphate (mg/L).

Stations	Variable	Min	Max	Moy	EC	Norme de l'OMS
RB Am	PO_4^{3-}	1,03	5,23	3,59	2,24	
RB Av	PO_4^{3-}	0,90	5,40	3,57	2,36	-
LB	PO_4^{3-}	1,20	1,52	1,34	0,16	

Par rapport à l'eau de lac Bedinta (LB), les valeurs de quantité de phosphate d'eau de rivière Bealanana sont très variés. Ces valeurs moyennes sont deux fois plus élevées par rapport à celle de l'eau du lac Bedinta.

Pour les F, As, Zn et Cu^{2+} qu'on a identifié seulement dans la rivière de Bealanana en dernière période d'étude, ces valeurs sont respectivement 0,27 mg/L, As=0,00 mg/L, 0,72 mg/L et 0,53 mg/L. Les normes respectives pour ces éléments sont 1,5 mg/L, 0,01 mg/L, 3 mg/L et 1 mg/L. Don on peut dire que ces éléments ne présentent aucun risque sanitaire chez les consommateurs.

3.1.2 Analyse en Composantes Principales

Tableau 16: Valeurs propres, variabilité et pourcentage cumulé.

	F1	F2	F3
Valeur propre	8,637	5,115	1,542
Variabilité (%)	53,981	31,971	9,639
% cumulé	53,981	85,951	95,591

La valeur propre sur les axes F1, F2 et F3 présente une information plus ou moins complète sur les eaux de surfaces étudiées (95,591% d'information). Pour les axes F1 et F2, l'information obtenu est de l'ordre de 85,951. Donc le travail est axé sur l'axe F1 et F2.

Tableau 17: Corrélations entre les variables et les facteurs.

Variables	F1	F2	F3
pH	-0,086	0,780	-0,396
TDS	0,976	-0,005	-0,212
CE	0,980	-0,008	-0,192
MES	0,397	0,884	0,103
Tur	-0,088	0,981	0,090
T	0,454	0,355	0,773
TAC	0,914	-0,004	-0,249
Ca ²⁺	0,971	-0,201	-0,121
Mg ²⁺	0,971	-0,192	-0,073
TH	0,977	-0,181	-0,102
O ₂	-0,673	-0,406	-0,572
Si	0,469	0,851	-0,204
Fe	-0,383	0,855	-0,278
Mn	0,970	-0,094	-0,214
PO ₄ ³⁻	0,821	0,446	0,259
Couleur	-0,484	0,837	-0,192

Ce tableau nous présente la corrélation entre les variables et les trois premiers facteurs. Les inerties sur les F1, F3 et F3 sont respectivement 53,981%, 31,971%, et 9,639%. Les informations sont en générales expliquées dans les axes F1 et F2. Donc nous présentons seulement le cercle de corrélation formé par le plan F1 et F2. Au total, les facteurs F1 et F2 présentent 85,95% d'inertie.

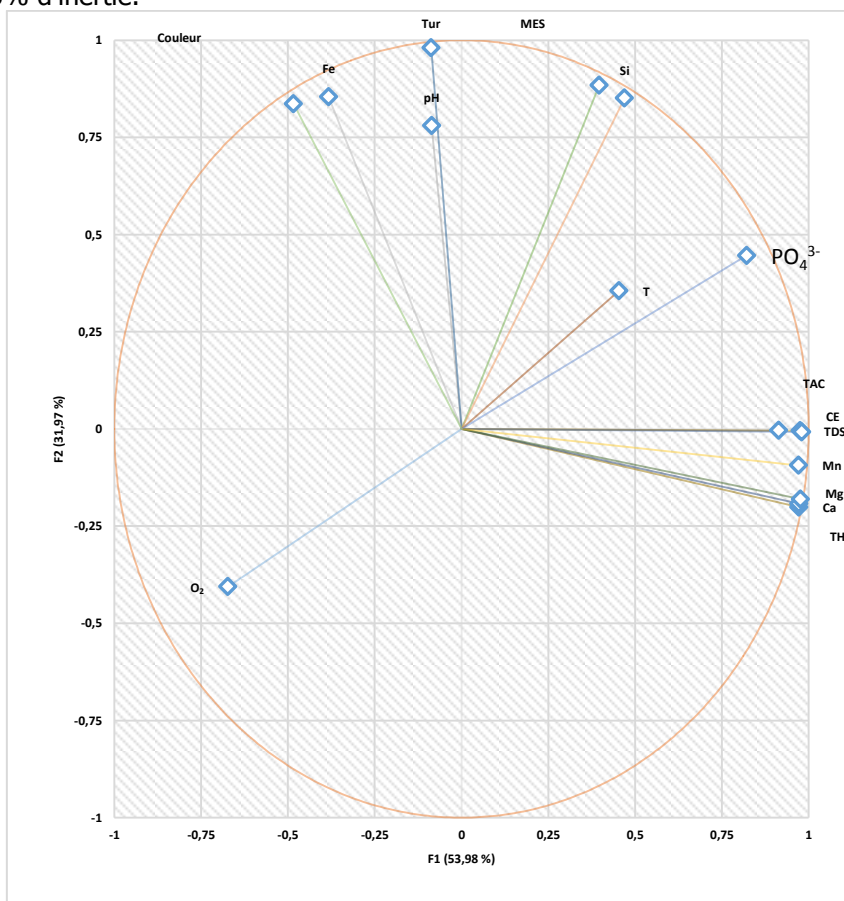


Figure 2: Présentation des variables sur le cercle de corrélation (axes F1 et F2 : 85,95%).

Dans l'axe F1 : TDS, TAC, Ca²⁺, Mg²⁺, TH et Mn occupent la partite ¼ en bas à droit et ses significations sont très élevées. MES, Si, T et PO₄³⁻ occupent ¼ à droit en haut mais seul Si qui a de signification très élevé. Dans l'axe F2 : Couleur, Tur, pH et Fe sont très significatif dans la partie gauche en haute. MES, Si T et PO₄³⁻ occupent la partie droite en haut mais T et PO₄³⁻ ne sont pas très significatifs. Pour les autres éléments qui ne sont pas bien expliqués dans les axes F1 et F2 peuvent être expliqués par les autres axes.

L'analyse de la répartition des échantillons dans les plans factoriels permet de mettre en évidence les ressemblances et dissemblances existantes entre les échantillons en fonction de leur composition élémentaire. Afin d'identifier ces liens existant entre les échantillons et leur composition chimique, les coordonnées des observations dans le plan factoriel F1, F2 ont été représentées sur la figure ci-après.

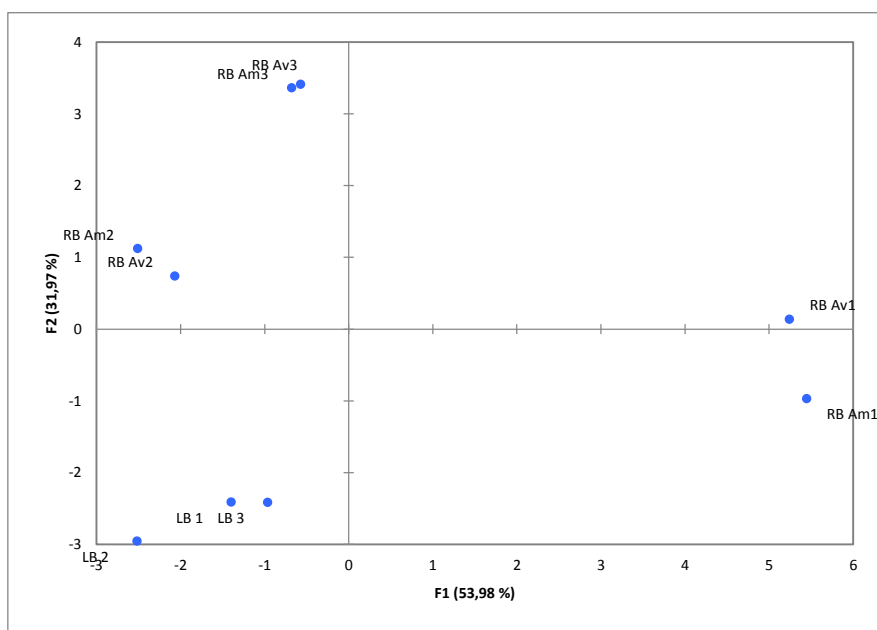


Figure 3: Répartition des échantillons par saison (axes F1 et F2 : 85,95 %).

Le CAH montre que les eaux de surfaces étudiées sont composées de quatre groupes selon les éléments dominants qui les appartiennent.

Le premier groupe appartient au lac Bedinta durant trois périodes d'échantillonnages. C'est-à-dire LB 1, LB 2 et LB 3 (Lac Bedinta en saison de pluie 2021, saison sèche 2021 et saison de pluie 2022). Ce groupe, par rapport aux autres, est formé par la dominance en oxygène dissous. Sur ce groupe, les valeurs minimale et maximale sont respectivement 9,20 mg/L et 10,56 mg/L avec une moyenne de $9,74 \pm 0,69$ mg/L. pour les rivières de Bealanana en amont et en aval, ses valeurs moyennes sont respectivement $9,07 \pm 0,79$ mg/L et $9,19 \pm 1,10$ mg/L. Elles sont inférieures à la valeur moyenne de lac Bedinta. Ce groupe a aussi un caractère un peu minéralisé.

Le deuxième groupe appartient aux stations de rivières de Bealanana en amont et en aval dans la saison de pluie 2021 (RB Am1, AB Av1). La ressemblance des deux stations sur cette saison est formée par l'abondance de TH, Ca^{2+} , Mg^{2+} , TAC, TDS et Mn. L'eau de ce groupe est dure et c'est seulement sur cette saison que la dureté atteint la norme. Sur ce point, ce groupe est normal. Par contre, l'excès en manganèse rend l'eau mauvaise en cette saison.

Le troisième groupe appartient aux éléments de rivières de Bealanana en amont et en aval en saison sèche 2021 (RB Am2 et RB Av2). Il se distingue, par rapport aux autres, par l'absence des valeurs exceptionnelles. Donc ce groupe est mal expliqué.

Le quatrième groupe est formé par les rivières de Bealanana en amont et en aval durant la période de pluie 2022 (RB Am3 et RB Av3). La présence en excès de couleur, Fe, pH, tur, Si et MES distingue ce groupe sur les trois premier groupes. Par rapport aux autres groupes et norme de l'OMS, la qualité d'eau sur ce groupe est très mauvaise.

Après avoir analysé les quatre groupes, les ressemblances par groupe indique que :

- la qualité d'eau de lac Bedinta (LB) ne varie pas au cours des saisons (premier groupe).
- la qualité de rivière de Bealanana (RB) varie suivant les saisons (deuxième, troisième et quatrième groupe).

Du point de vu qualité physico-chimiques, la qualité d'eau de lac Bedinta est largement bonne par rapport aux eaux de rivière de Bealanana. Dans les différentes périodes d'études, le traitement nécessaire pour l'eau de lac Bedinta reste plus ou moins invariable et relativement facile. Pour la rivière de Bealanana, le traitement varie suivant les saisons et semble plus compliqué.

3.2. Résultats bactériologiques

Les bactéries sont ubiquitaires et peuvent se trouver dans les eaux naturelles. La détermination du nombre total des coliformes n'est pas considérée en général comme un bon indicateur pour déterminer la présence ou non des microorganismes pathogènes, seulement *E. coli* reste l'indicateur le plus fiable dans ce cas indiquant une

contamination fécale. La présence des germes dans l'eau de consommation pourrait provoquer la propagation de nombreuses maladies infectieuses et parasitaires à transports hydriques notamment : le choléra, la typhoïde, l'hépatite, dysenterie, gastro-entérite, maladies diarrhéiques, la bilharziose et le paludisme [15]. L'étude bactériologique des rivières et du lac a mis en évidence une contamination bactérienne d'origine humaine et/ou animale. La présence très élevée des germes microbiens dans l'eau pourrait constituer un risque sanitaire important pour les habitants qui s'approvisionnent en eau nécessaire à leurs besoins à partir de l'eau de ces sources.

Tableau 18: Germes dans l'échantillon dans les périodes d'études.

Germes /mL	Rivière Bealanana			Lac Bedinta			Norme de l'OMS
	Mars 2021	Août 2021	Mars 2022	Mars 2021	Août 2021	mars 2022	
GT	218	27	94	106	88	90	100/100 mL
CT	36	5	30	15	7	11	0/100 mL
CF	4	<1	12	2	4	<1	0/100 mL
EI	22	<1	4	10	9	<1	0/100 mL
E-coli	2	<1	<1	<1	<1	<1	0/100 mL
CSR	<1	<1	<1	<1	<1	<1	0/20 mL

Du point de vue bactériologique, en saison de pluie 2021, la qualité de l'eau de rivière de Bealanana est largement mauvaise par rapport à l'eau du lac de Bedinta. Germes totaux (GT), coliformes totaux (CT) et coliformes fécaux (CF) sont présents sur les deux eaux de surface. Mais sur cette saison, la quantité de ces germes dans la rivière de Bealanana est toujours deux fois supérieure par rapport au lac Bedinta. La présence d'E-coli, au nombre de 2 UFC/mL sur cette rivière, confirme bien que cette eau est contaminée par excréments humains.

En saison sèche 2021, E-coli et Clostridium sulfito-réducteurs (CSR) sont toujours absent. Donc on peut dire que ces eaux ne sont pas contaminées par excréments humains. Les germes totaux (GT), coliformes totaux (CT) sont présents sur les deux sites d'études. Les coliformes fécaux (CF) et entérocoques intestinaux (EI) apparaissent sur l'eau de lac mais ils n'apparaissent pas dans l'eau de rivière.

En saison de pluie 2022, Germes totaux (GT), coliformes totaux (CT) sont présents sur les deux sites d'études. Les coliformes fécaux (CF) et entérocoques intestinaux (EI) apparaissent sur l'eau de rivière mais ils n'apparaissent pas dans l'eau de lac. Sur cette saison, E-coli et Clostridium sulfito-réducteurs (CSR) sont toujours absent. Pour les germes présents, leurs quantités dans l'eau de rivière sont toujours supérieures à ceux de l'eau du lac. L'absence d'E-coli sur cette période indique que les deux sites d'études sont à l'abri de contamination fécale.

Dans tous les échantillons par saison, seul Clostridium sulfito-réducteurs (CSR) n'a jamais été identifié. Les quantités de GT et CT sont toujours énorme durant toutes périodes d'étude. Elles varient suivant la saison et le lieu. Le plus grand risque sanitaire lié à la présence de micro-organismes dans l'eau résulte de la consommation d'eau de boisson contaminée par des excréments humains [9]. Les germes dans les eaux de rivière Bealanana sont presque deux fois supérieurs à celle de lac Bedinta. Par conséquent, le tableau 18 montre bien que l'eau de lac Bedinta a une meilleure qualité que l'eau de rivière de Bealanana.

4. CONCLUSION

Les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux de surfaces durant la période d'étude montrent que l'eau de la rivière de Bealanana est plus minéralisée que l'eau de lac Bedinta. La présence des valeurs élevées comme la couleur, matières en suspension, manganèse et fer dans cette rivière signale que cette source est très mauvaise à la consommation humaine. Par contre, l'eau de lac Bedinta est moins minéralisée. Les teneurs en calcium et magnésium sont très faible. En absence de traitement, à long termes, la consommation de cette eau entraînerait la carence en éléments minéraux. L'étude sur ACP montre que l'eau de rivière de Bealanana se ressemble par saison mais l'eau de lac Bedinta se ressemble en toute saison. Sur ce point, le traitement de l'eau de cette rivière varie par saison et le traitement d'eau de ce lac reste le même en toute saison.

Les résultats d'analyse bactériologiques montrent que l'eau de rivière de Bealanana subit une pollution d'origine anthropique issue des excréments humains. Le lac est contaminé par des germes comme germes totaux, coliformes totaux, coliformes fécaux et entérocoques intestinaux mais il est toujours à l'abri de contamination fécale.

Bref, du point de vue de coût de traitement, considérant la qualité de ces eaux de surface, il est préférable d'exploiter l'eau du lac Bedinta pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Bealanana. Dans ce cas, les traitements nécessaires sont : décantation (quelque fois), ajout des éléments minéraux comme le calcium et le magnésium (pour éviter déqualification et carence en magnésium) et désinfection (pour l'élimination des bactéries).

5. REFERENCES

1. El haissoufi et al., «POLLUTION DES EAUX DE PUITTS DE CERTAINS QUARTIERS DE LA VILLE DE FES, MAROC,» *Rev. Microbiol. Ind. San et Environn*, 2011 ; Vol 5, N°1, pp. 37-68.
2. Isabelle J-V, «DÉBORDEMENTS D'ÉGOUTS UNITAIRES ET PROTECTION DES SOURCES D'EAU POTABLE : INTÉGRATION DES CHANGEMENTS GLOBAUX,» Thèse de doctorat. UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL, 2015 ; Disponible sur : https://publications.polymtl.ca/2015_IsabelleJalli...
3. DIALLO A.D et al, «L'intérêt des méthodes d'analyses statistiques dans la gestion du suivi de la qualité physico-chimique de l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal,» *Larhyss Journal*, 2014 ; 17, pp. 101-114 <https://www.researchgate.net/publication/279530421>
4. Species Action Plan 2014-2024 For the conservation of the critically endangered Madagascar pochard. Available on : <http://threatenedwaterfowlsg.org/2021/04/222...>
5. Bemanevika, un trésor naturel bien conservé, mais ... très fragile. Disponible sur : <https://blogderasamy.com/2017/08/23/bemanevika-...>
6. AYAD W. «Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région D'EL-HARROUCH (WILAYA DE SKIKDA),» Thèse de doctorat., Université BADJI MOKHTAR – ANNABA. 2017. . Available on: <http://www.secheresse.info/Doctorat/Algérie/2017>
7. GRET Professionnels du développement solidaire, «Avant Projet Sommaire du réseau hydroélectrique pour Ambatosia – Ambodiampana – Beandrazona,». Available on: https://ader.mg/pdf_files/I-APS_AMBATOSIA
8. Prevision metereologie 2022. Available on: https://planificateur.a-contresens.net/sofia_region/be..
9. OMS, «Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4e édition. intégrant le premier additif», 2017.
10. Derwich E. et al, «Evaluation de la qualité des eaux de surface des oueds Fès et Sebou utilisées en agriculture maraîchère au Maroc,» *Larhyss Journal*, 2008 ; 7, pp. 59-77. Disponible sur : <http://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/94>
11. Rodier J. et al, «L'analyse de l'eau - Eaux naturelles et Eaux résiduaires et Eau de mer,» Dunod, 8emeedition. 2005. Available on: <https://fr.scribd.com/document/L-analyse-de-l-eau-Ea...>
12. N'Diaye A.D. et al, «Turbidité et matières en suspension dans l'eau : Application à l'évaluation des métaux contenus dans l'eau de la rive droite du fleuve Sénégal,» *Larhyss Journal*, 2013 ; 14, pp. 93-105. Disponible sur : <https://www.researchgate.net/publication/305280631>
13. Zouag Bilal B. Y. Analyse physico-chimique et bactériologique et parasitologique de l'eau de mer traitée par la station de dessalement de Souk Tleta « Tlemcen », UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAÏD, Algerie: Thèse de doctorat. 2017. . Available on: <http://dspace.univ-tlemcen.dz/handle/112/10281>
14. SEQ-Eau, «Système d'évaluation de la qualité des cours d'eau, rapport de présentation SEQ-Eau,» *Agences de l'eau, les études des agences de l'eau*, 2003 ; n° 64, p. p. 59. Disponible sur : <https://davar.gouv.nc/default/files/atoms/files>
15. EL Ouali Lalami A., «Etude bactériologique et parasitologique de l'eau de l'oued Sebou après rejet des eaux usées de la ville de Fès au Maroc,» *Tribune de l'eau*, 2008 ; 64/4,, pp. 50-55. Available on : https://www.jmaterenviromsci.com/vol5_NS1



Cite this article: Jaofara, Rasoarivola Robertine, Bisoa Victor, Razafitsiferana Théophile, et Lehimena Clément. APPLICATION DES METHODES STATISTIQUES SUR LES ETUDES QUALITATIVE ET COMPARATIVE DES EAUX DE SURFACES (RIVIERE BEALANANA ET LAC BEDINTA) EN VUE D'UNE PROPOSITION DE NOUVELLE SOURCE D'EAU DE CONSOMMATION DANS LA COMMUNE URBAINE DE BEALANANA, REGION SOFIA, MADAGASCAR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2022; 14(5): 227-238.

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>