

ANALYSES QUALITATIVES DES EAUX DE PUIITS DANS LA COMMUNE URBAINE DE BEALANANA, REGION SOFIA, MADAGASCAR

QUALITATIVE ANALYSES OF WELL WATER IN THE URBAN COMMUNE OF BEALANANA, SOFIA REGION, MADAGASCAR

| Jaofara *^{1,2,3} | 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 |



| Received May 05, 2022 |

| Accepted May 14, 2022 |

| Published May 21, 2022 |

| ID Article | Jaofara-Ref08-ajira070522 |

RESUME

Introduction : L'eau est la base de la vie. Cependant elle est souvent la source de nombreuses maladies. Dans les pays en voie de développement, comme ici à Madagascar le taux de la consommation d'eau potable est très minime. **Contexte** : La commune urbaine de Bealanana est le chef-lieu de son district. La principale source d'eau de consommation de cette commune est l'eau souterraine. Mais sa qualité n'a jamais été étudiée. **Objectifs** : Notre étude a pour objectif d'évaluer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de cinq puits de cette ville afin de connaître les précautions nécessaires à apprendre pour qu'elles soient potables. **Méthodes** : Pour apprécier la qualité de ces eaux, les analyses ont été réalisées avec 30 échantillons en saison différentes. Pour l'analyse des paramètres physico-chimiques, pH, CE, TDS, T°, Turbidité (Tur), Couleur, Odeur, MES, TH, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, Al, SiO₂, Mn, Fe, O₂ et TAC ont été analysés. Les germes bactériologiques analysés sont : germes totaux (GT), coliformes totaux (CT), coliformes fécaux (CF), entérocoques intestinaux (EI), Clostridium sulfite-réducteurs (CSR). Les méthodes de Rodier 2009 ont été appliquées. Les résultats des paramètres physico-chimiques obtenus ont subi des traitements statistiques par la statistique descriptive, analyse en composantes principales (ACP) et classification ascendante hiérarchique (CAH). **Résultats** : Les eaux étudiées sont acides, avec une valeur du pH moyenne égal à 6,169 ±0,74. Les teneurs en Ca²⁺, Mg²⁺ sont faibles pour l'ensemble des points d'eau étudiés sauf EPCZ. Couleur et manganèse présentent une valeur énorme par rapport à la norme OMS. La représentation de la classification ascendante hiérarchique (CAH) montre bien que l'EPCZ est toujours différent aux autres. Quant aux paramètres bactériologiques, les germes totaux sont toujours présents (en UFC/mL) dans tous les puits. Par contre, Clostridium sulfite-réducteurs (CSR) sont toujours absents. La présence d'E-coli dans EPB III signale que ce puits est contaminé par des excréments humains. **Conclusions** : Les résultats des analyses effectuées ont fait ressortir que la plupart des eaux de puits sont de mauvaise qualité aussi bien sur le plan physico-chimique que bactériologique ce qui constitue sans doute un danger non négligeable à la santé des populations consommatrices de ces eaux si on n'envisage pas de traitement au préalable. **Mots clés** : Eau souterraine, Puits, Qualité, Physico-chimie, bactériologie et analyses statistique.

ABSTRACT

Introduction: Water is the basis of life. However, it is often the source of many diseases. In developing countries, like here in Madagascar, the rate of drinking water consumption is very minimal. **Context**: The urban commune of Bealanana is the capital of its district. The main source of drinking water in this municipality is groundwater. But its quality has never been studied. **Objectives**: Our study aims to evaluate the physico-chemical and bacteriological quality of the waters of five wells in this city in order to know the necessary precautions to learn so that they are drinkable. **Methods**: To assess the quality of these waters, analyzes were carried out with 30 samples in different seasons. For the analysis of physico-chemical parameters, pH, EC, TDS, T°, Turbidity (Tur), Color, Odor, MES, TH, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄³⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, Al, SiO₂, Mn, Fe, O₂ and TAC were analyzed. The bacteriological germs analyzed are: total germs (GT), total coliforms (CT), faecal coliforms (CF), intestinal enterococci (EI), sulphite-reducing Clostridium (CSR). The methods of Rodier 2009 were applied. The results of the physico-chemical parameters obtained underwent statistical processing by descriptive statistics, principal component analysis (PCA) and ascending hierarchical classification (CAH). **Results**: The waters studied are acidic, with an average pH value equal to 6.169 ±0.74. The Ca²⁺ and Mg²⁺ contents are low for all the water points studied except EPCZ. Color and manganese show huge value compared to WHO standard. The representation of the hierarchical ascending classification (HAC) clearly shows that the EPCZ is always different from the others. As for the bacteriological parameters, the total germs are always present (in CFU/mL) in all the wells. On the other hand, sulphite-reducing Clostridium (CSR) are always absent. The presence of E-coli in EPB III signals that this well is contaminated with human feces. **Conclusions**: The results of the analyzes carried out revealed that most well water is of poor quality both physico-chemically and bacteriologically, which undoubtedly constitutes a significant danger to the health of the populations consuming this water if no pre-treatment is envisaged.

Keywords: Groundwater, Wells, Quality, Physico-chemistry, bacteriology and statistical analyzes

1. INTRODUCTION

Depuis les années soixante-dix, l'eau est devenue un thème majeur des rendez-vous internationaux [1]. Dans la plupart des régions du monde, l'eau souterraine est d'une importance capitale [2]. Un grand nombre de région ou ville ou bien village dans le monde entier subit le problème d'eau qu'en qualité et quantité. A Madagascar, le taux d'accès à une bonne eau potable est estimé à 23% [3]. Bealanana est l'un de district de Madagascar très riche en

ressource d'eau. Mais il rencontre actuellement une difficulté d'accès en eau potable. Par de manque d'ouvrage de traitement d'eau brute, 60 à 70% de la population locale utilisent l'eau provenant des puits collectifs et des puits individuels. Jusqu'à ce jour, aucune étude approfondie n'a été faite sur la qualité des eaux de ces puits. L'eau souterraine est douce et de bonne qualité comparée à celle de surface. Elle est généralement moins chère et les aquifères jouissent d'une protection naturelle contre les pollutions anthropiques [4,5]. Malgré cette importance, la qualité de l'eau souterraine peut se détériorer du fait de nombreux facteurs influençant à sa composition chimique. L'eau captée peut contenir des éléments pouvant avoir des effets indésirables sur la santé, comme des microorganismes pathogènes, des substances indésirables ou même des substances toxiques lors contact avec des roches, à cause des conditions climatiques,... [6,7]. L'objectif de notre étude est d'évaluer la qualité des eaux de puits de la ville urbaine de Bealanana par des traitements statistiques des résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de ces eaux afin de proposer des traitements appropriés.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1. Zone d'étude

Bealanana se trouve dans la région SOFIA, province de 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.

La commune urbaine de Bealanana est divisée en quatre grands quartiers. Ce sont : Bealanana I, Bealanana II, Bealanana III et Bealanana IV. En ressource d'eau de consommation, cette ville est très riche mais la population locale souffre d'un manque d'eau de consommation potable. Dans ce cas, la principale source d'eau de consommation est l'eau souterraine (eaux de puits). Nos sites d'étude sont centrés sur un puits par quartier et un puits de Clinique Zanatany.

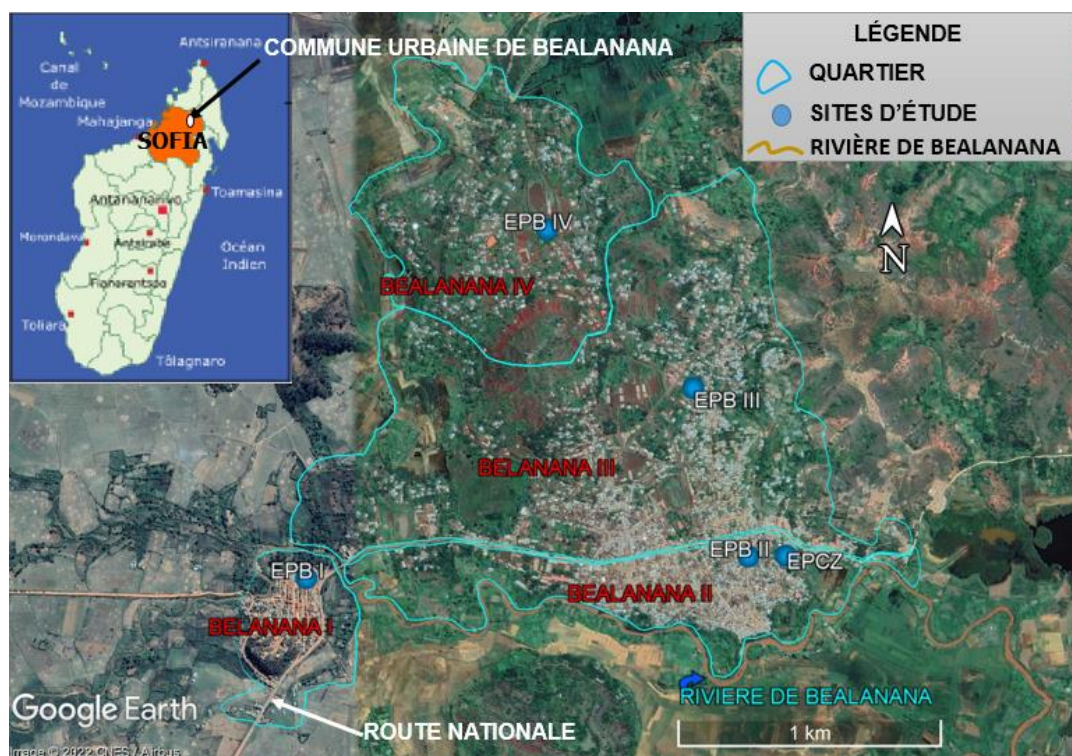


Figure 1: La carte montre la localisation de zone d'étude et présentation de points de prélèvements.

Tableau 1: Le tableau montre les coordonnées géographiques des sites d'études.

	EPB I	EPB II	EPB III	EPB IV	EPCZ
Latitudes	14°32'42.24 S	14°32'39.80 S	14°32'19.69 S	14°31'58.80 S	14°32'40.25 S
Longitudes	48°44'15.39 E	48°45'11.50 E	48°45'61.39 E	48°44'45.59 E	48°45'16.26 E

2.2. Prélèvements et analyses

Après une campagne de prospection, 4 puits ont été sélectionnés dans les quatre quartiers de la ville urbaine de Bealanana et s'ajoute un puits de clinique Zanatany. Ce puits se trouve dans le quartier Bealanana II et il est utilisé par cette clinique. Au total, nous avons ciblé 5 puits. Ce sont des puits collectifs et ils ont les plus nombreux utilisateurs. Pour avoir des données complètes, le prélèvement des échantillons a été fait dans deux saisons différentes en trois périodes à savoir les saisons de pluie aux mois de mars 2021 et 2022 et en saison sèche en mois

d'août 2021. Durant les périodes d'analyses, 30 échantillons ont été analysés dont 15 échantillons pour analyses physico-chimiques et 15 échantillons pour analyses bactériologiques.

Pour les paramètres physico-chimiques, les échantillons ont été prélevés dans des bouteilles plastiques d'eau minérale de 1,5 L puis acheminés au laboratoire à l'aide de glacière chargée de glace. Toutefois, le pH et la température ont été mesurés "in situ" grâce à un pH-mètre portatif (PH/TEMP, marque WATERPROOF). TAC, TH, Ca et Mg ont été mesurés par titrimétrie tandis que la silice et la couleur ont été déterminés par un spectrophotomètre de type Spectroquant Prove 300. Le TDS et CE ont été analysés à l'aide de l'appareil conductimètre, marque Mettler Toledo. Fe, PO_4^{3-} , MES, Al, et Mn ont été analysés à l'aide de l'appareil colorimètre DR 890, marque HACH. Les Nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-) ont été analysés par kit nitrites et nitrates de marque MQuantTM. L'analyse de la turbidité a été faite à l'aide de l'appareil Turbidimètre pocket II, marque Lovibond. L'Oxygène dissous a été analysé à l'aide de l'appareil Oxymètre waterproof, marque Humeau.

Les études statistiques ont été basées sur l'analyse en composante principale Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). La matrice de corrélation de Pearson et la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2 ont été obtenues avec un Logiciel XLSTAT 2016.02.27444. Pour les analyses bactériologiques, 1mL d'échantillon a été incorporé avec le milieu de culture dans une boîte de pétrie puis incubé dans une étuve thermostatée. Les milieux de culture utilisés et les conditions d'incubation sont : milieu nutritif Agar pour la recherche des germes totaux (GT) avec une incubation à 28°C dans 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 44°C dans 48h, milieu MFC pour la recherche des E-coli avec une incubation à 37°C dans 48h et milieu Viande foie pour la recherche des Clostridium sulfite-réducteurs (CSR) avec une incubation à 37°C dans 24h. Après la limite d'incubation, on a compté les colonies qui poussent sur ces géloses et on donne les résultats en nombre de bactéries par mL d'eau. Les analyses ont été effectuées selon la méthode Rodier 2009.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Résultat des paramètres physico-chimiques

Le résultat d'analyse physico-chimique a été traité par des méthodes statistiques à l'aide du logiciel XLSTAT 2016.02.27444. Cette analyse permet de synthétiser et de classer un nombre important de données afin d'en extraire les principaux facteurs qui sont à l'origine de l'évolution simultanée des variables et de leur relation réciproque [8]. Elle permet de mettre en évidence les ressemblances entre deux ou plusieurs variables physico-chimiques au cours de leur évolution.

3.1.1 Analyse descriptive des résultats

L'analyse statistique des paramètres physico-chimiques des échantillons d'eaux souterraines de la ville urbaine de Bealanana est résumée dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Statistiques descriptives globales des éléments physico-chimiques des eaux de puits étudiés.

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Norme de l'OMS
pH	4,67	6,76	6,17	0,74	6,5 – 8,5
T°	18,75	23,70	21,44	1,56	Max 25°C
Couleur	0,00	0,50	0,09	0,17	Aucune
MES	0,00	22,00	3,60	6,82	-
Tur	0,02	50,30	9,18	16,43	5 NTU
TDS	28,40	418,00	129,35	135,29	-
CE	48,80	720,00	221,52	235,05	100 $\mu\text{s/cm}$
TAC	1,00	32,00	7,67	11,17	-
Ca²⁺	8,00	800,00	84,94	202,31	Max
Mg²⁺	10,00	911,84	95,19	228,61	Max
TH	18,00	1711,84	179,59	430,63	Max 500 mg/L
O₂	4,13	10,29	7,80	1,78	Min 5 mg/L
Si	4,09	36,86	19,87	12,16	-
Fe	0,04	1,49	0,24	0,38	Max 0,5 mg/L
Mn	0,00	43,60	3,71	11,09	Max 0,05 mg/L
PO₄³⁻	1,40	5,30	3,15	1,31	-
NO₃⁻	0,00	100,00	13,33	29,68	Max 50 mg/L

Les unités sont mg/L excepté de CE en $\mu\text{s/cm}$, Turbidité (Tur) en NTU, TAC en °f, couleur en UCP et pH sans unité.

Ce tableau présente le résultat global des eaux de puits dans la commune urbaine de Bealanana. Parmi ces éléments, il a y des valeurs moyennes qui sont intégrées dans la norme mais il a y d'autres éléments ne sont pas intégrés dans la norme. Le détail des éléments dans le tableau 2 dans tout site d'étude sera présenté ci-après.

❖ pH

Le pH est un paramètre qui détermine l'acidité ou la basicité d'un échantillon. Dans l'eau de consommation, l'OMS exige que l'intervalle de pH varie de 6,5 à 8,5. En dehors de cet intervalle, l'eau n'est pas bonne à la consommation. Dans notre analyse, les valeurs minimale et maximale sont respectivement 4,67 et 6,76. La figure suivante résume les valeurs moyennes d'eau des puits étudiés durant trois campagnes de prélèvement.

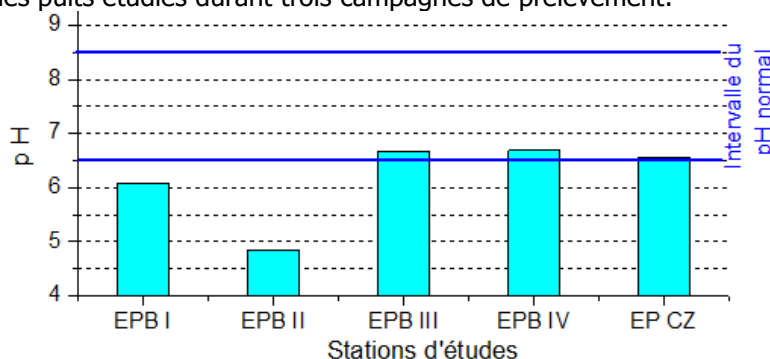


Figure 2: Valeur moyenne de pH par puits des eaux étudiés

On voit ici que les eaux étudiés sont tous acides. Les valeurs moyennes sur les stations EPB I et EPB II sont largement inférieur à la norme recommandée par l'OMS surtout sur l'EPB II ($pH_{moyenne}=4,84 \pm 0,27$). Les trois stations restantes sont incluses à cette norme même si ses valeurs restent toujours acides.

❖ Température (T°)

La température est un paramètre très important pour la multiplication de microbe. Dans ce cas, l'OMS recommande que la température d'eau de consommation ne dépasse pas 25°C . Pour notre étude, Les valeurs minimale et maximale sont respectivement $18,75^{\circ}\text{C}$ et $23,70^{\circ}\text{C}$. Elles sont enregistrées au niveau d'EPB IV en deuxième échantillon (EPB IV 2) et EPCZ en dernière échantillons (EPCZ 3).

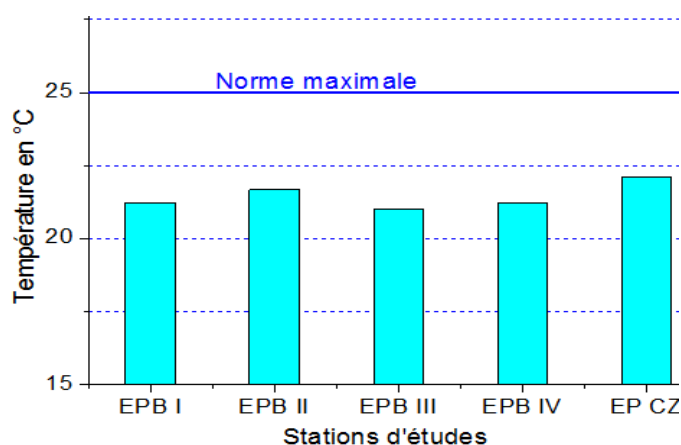


Figure 3: Valeurs moyennes de température par puits des eaux étudiées.

Cette figure nous montre bien que du point de vue de température, les eaux de puits dans chaque station étudiés sont très bonnes. Parce qu'aucune valeur moyenne n'a dépassé la limite maximale recommandée par l'OMS. Parmi les puits étudiés, EPB III a une valeur de température moyenne de $21,00 \pm 1,58^{\circ}\text{C}$ qui est une valeur moyenne la plus basse et meilleure valeur et la plus élevée est située sur l'EPCZ avec une valeur de température moyenne de $22,1 \pm 2,04^{\circ}\text{C}$.

❖ Oxygène dissous (O_2)

L'oxygène dissous est l'un des paramètres très intéressants dans l'étude de qualité d'eau. Il a une relation directe surtout sur la température et matière en suspension. Sa valeur diminue au fur et à mesure que la température ou la matière en suspension augmente. L'eau est en bonne qualité si sa valeur est élevée. Pour l'eau de consommation humaine, la valeur minimale recommandée par l'OMS est de 5 mg/L. Selon Beaux (1988), une eau est polluée si elle a une teneur en oxygène dissous inférieure à 3 mg/l [9]. Dans notre cas, la valeur minimale est de 4,13 mg/L qui est enregistrée à l'EPCZ en saison de pluie 2022. La valeur maximale est de 10,29 mg/L qui est enregistrée au niveau de l'EPB IV en saison sèche 2021. Les valeurs moyennes par chaque puits seront présentées dans la figure suivante.

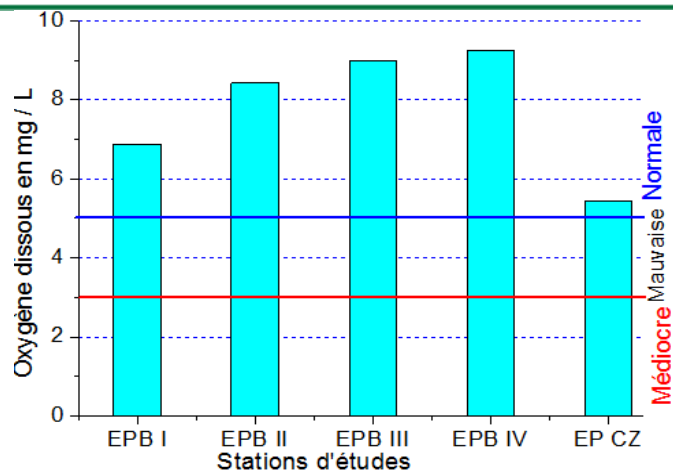


Figure 4: Valeurs moyennes d'oxygène dissous par puits étudié.

D'après cette figure, toutes les valeurs moyennes se trouvent sur la partie normale de l'OMS. Du point de vu de l'oxygène dissous, on peut dire que les eaux de puits de Bealanana sont de bonne qualité.

❖ **Matières en suspensions (MES)**

Les MES ont une relation étroite avec la turbidité, la couleur, l'oxygène dissous,... Malgré cela, ce paramètre n'a pas de valeur guide. Les MES sont l'une des paramètres primordial à analyser. Durant nos études, les valeurs minimale et maximale sont 0,00 mg/L et 22 mg/L. Ces valeurs sont respectivement enregistrées au niveau des stations EPB II, EPB III et EPCZ. La figure suivante présente les valeurs moyennes de MES de chaque eau de puits étudiée.

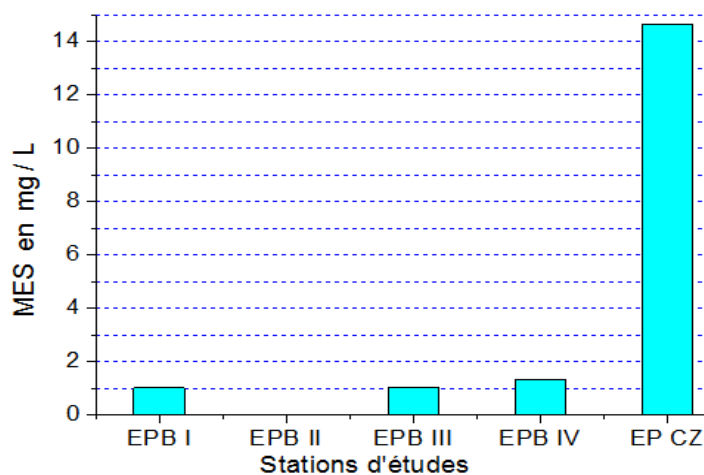


Figure 5: Valeurs moyennes de MES par puits étudiées.

Tout au long de d'analyse, la valeur de MES dans EPB II est toujours nulle. Pour les EPB I, EPB III et EPB IV, ses valeurs restent toujours minimales. La valeur maximale se trouve sur EPCZ et la valeur de la moyenne maximale est aussi sur ce puits ($14,67 \pm 9,45$ mg/L). Par rapport aux autres puits, l'eau de ce puits a une qualité plus mauvaise.

❖ **Turbidité (Tur)**

La valeur élevée de la turbidité d'eau indique que l'eau est trouble. La turbidité d'une eau est causée par la présence des matières en suspension ou par des substances en solution comme les substances minérales, des matières organiques ou d'autres matières microscopiques qui forment un obstacle au passage de la lumière dans l'eau [10]. La valeur guide maximale donnée par l'OMS est de 5 NTU. Sur cette valeur limite, l'eau est incolore. Dans l'intervalle de 5 NTU à 30 NTU, l'eau est légèrement colorée. Donc l'eau devient plus colorée lorsque la turbidité est élevée. Pour les puits étudiés, la valeur minimale est de 0,02 NTU. Elle est enregistrée au niveau de station d'EPB I. La valeur maximale est de 50,30 NTU. Elle est enregistrée au niveau de station d'EPCZ.

La figure suivante présente le diagramme de turbidité moyenne par puits durant les trois périodes d'études.

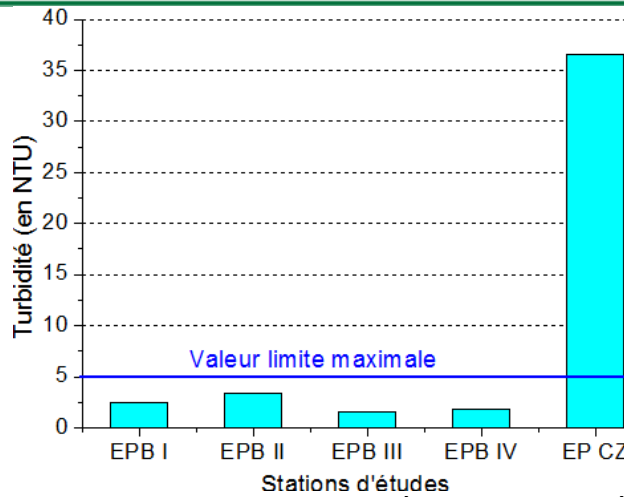


Figure 6: Valeurs moyennes de turbidité de cinq stations étudiées.

Dans les quatre premières eaux de puits, les valeurs moyennes sont toujours inférieure à la limite donnée par l’OMS. Par contre sur l’EPCZ, sa valeur moyenne est de $36,58 \pm 20,72$ NTU. Elle dépasse largement la norme de l’OMS. Selon le classement de turbidité, elle est classée dans l’eau colorée.

❖ **Couleur et odeur**

Les deux paramètres n’ont pas d’effet direct sur la santé humaine. Mais l’existence des deux ou l’un entre eux indique que l’eau est mauvaise à la consommation humaine. Durant les trois périodes d’analyses, on ne sent aucune odeur. Sur ce point, les eaux de puits étudiées sont bonnes à la consommation humaine. Sur la couleur, la valeur minimale est de 0,00 UCP. Elle est enregistrée au niveau de l’EPB II, EPB III, EPB I 1et 2, EPB IV 1 et 2 et EPCZ 1. La valeur maximale est 0,5 UCP. Elle est enregistrée au niveau EPCZ en dernière prélèvement (EPCZ 3). La figure suivante présente les valeurs moyennes de couleur par eau de puits étudiées.

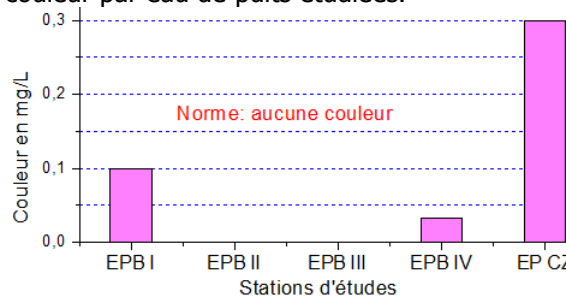


Figure 7: Présentation des valeurs moyennes de couleurs des eaux de puits étudiées.

Durant les trois périodes de prélèvement, aucune couleur n’apparaît sur EPB II et EPB III. Il y a une légère couleur sur EPB I et EPB IV. Parmi les cinq puits, la couleur est dominante dans l’EPCZ. Cette couleur a une liaison directe sur la turbidité.

❖ **Total solide dissous (TDS)**

TDS est l’indice des éléments dissous dans l’eau. Dans la norme internationale, il n’est pas mentionné par OMS mais son excès indique que l’eau est très minéralisé ou aussi très dure. Pour une valeur très basse, elle indique que l’eau est très peu minéralisé ou très douce. Dans ce cas, une carence peut se présenter chez les consommateurs. Le TDS a une relation étroite avec la conductivité. Si la valeur de TDS est basse, la valeur de conductivité est aussi en générale basse. Dans notre cas, l’EPCZ en troisième échantillon présente la valeur maximale (418,00 mg/L). La valeur minimale est de 28,40 mg/L. Elle se trouve dans l’EPB IV en deuxième échantillon. La figure suivante présente la variation moyenne de TDS par puits.

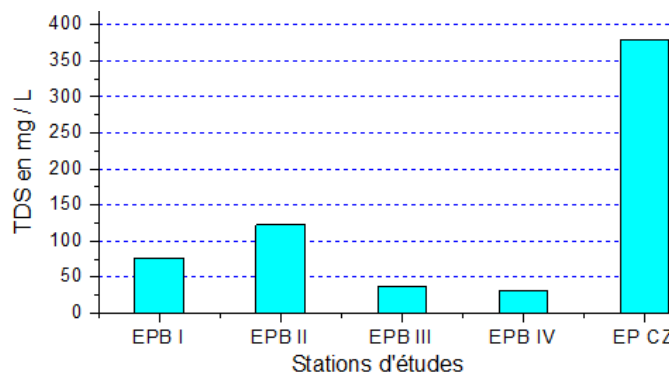


Figure 8: Valeurs moyennes de TDS par eaux de puits étudié

Par rapport aux autres puits, EPCZ présente une valeur très élevée. Elle atteint une valeur moyenne 379,33 ±51,40 mg/L. Par contre EPBII et EPB IV ont des valeurs moyennes très basses. Parmi les eaux de puits étudiés, la plus minéralisée ou plus dure est l'EPCZ. L'EPB III et EPB IV présentent une minéralisation très faible.

❖ **Conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique renseigne sur le degré de minéralisation des eaux et qui est la quantité de sels minéraux contenus dans l'eau sous forme d'anions et cations. Selon Rodier et al. (2005), la mesure de la conductivité permet d'évaluer rapidement mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau [11]. La valeur limite de l'OMS sur la CE dans l'eau de consommation est de 1000 µs/cm.

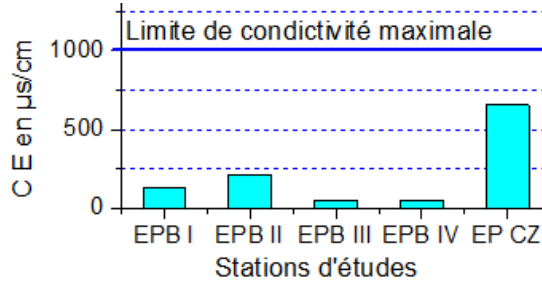


Figure 9: Valeurs moyennes de CE par chaque eau de puits étudiée.

Les valeurs minimale et maximale sont enregistrées au niveau d'EPB IV et EPCZ. Ces valeurs sont respectivement 48,80 et 720,00 µs/cm. Vu les valeurs minimale, moyenne et maximale de CE, les eaux de puits étudiées sont de bonne qualité. A l'exception d'EPCZ, les eaux étudiées sont faiblement minéralisées.

❖ **Titre hydrométrique (TH)**

L'ensemble de calcium (Ca) et magnésium (Mg) forment la dureté ou titre hydrométrique (TH) de l'eau. Le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables et sa teneur varie essentiellement suivant la nature des terrains traversés (terrain calcaire ou gypseux) [12, 13]. La présence de ces éléments dans l'eau est largement recommandée. L'insuffisance de ces éléments dans l'eau de consommation provoque une carence de chez les consommateurs. La norme de l'OMS recommande une valeur limite de 50 °f (ou 500 mg/L) en TH. Comme la présence de ces éléments est très recommandée, la réglementation algérienne préconise une valeur comprise entre 100 mg/L à 500 mg/L de CaCO₃ (10 et 50 degré français °f) [14]. Nos résultats montrent que les valeurs maximale (1711,84 mg/L) et minimale (18,00 mg/L) sont enregistrées au niveau d'EPCZ et EPB III. La figure suivante résume les valeurs de TH moyennes par puits des stations étudiées.

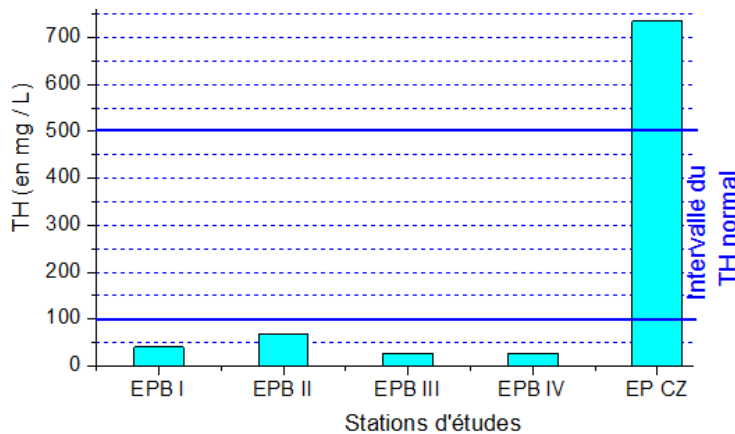


Figure 10: Valeurs moyennes de TH dans les cinq stations étudiées.

Les eaux de puits de Bealanana I, II, III et IV présentent des valeurs moyennes très basses. Selon la limite donnée par la réglementation algérienne, ces valeurs provoquent la carence en calcium et magnésium. Par contre, EPCZ dépasse largement la limite maximale. Elle atteint la moyenne de 734,61±847,34 mg/L. Les eaux de puits étudiées présentent des valeurs anormales de TH.

❖ **Fer (Fe) et manganèse (Mn)**

Ce sont des éléments qui peuvent être présents et en grande quantité dans la croûte terrestre. L'excès de ces éléments en eau de consommation est déconseillé. Les valeurs maximales admissibles sont 0,5 mg/L pour le Fe et 0,05 mg/L pour le Mn. Pour les deux éléments, les valeurs maximales dépassent les normes de l'OMS. Ses valeurs sont respectivement 1,49 mg/L et 43,60 mg/L. Elles se trouvent uniquement dans l'EPCZ. La figure suivante résume les valeurs moyennes par puits de ces deux éléments.

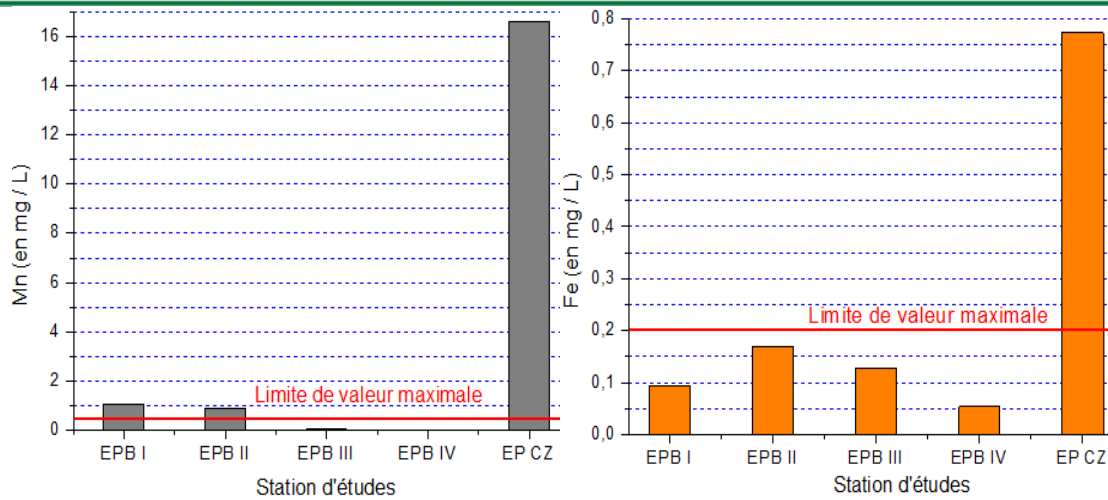


Figure 11: Valeurs moyennes de Fe et Mn par puits étudiés.

D'après cette figure, l'EPCZ présente les deux éléments en valeur moyenne très élevée. Pour les quatre puits restants, la valeur moyenne de Fe est inférieure à la limite. En ce qui concerne le manganèse, EPBII et EPB IV sont dans la norme mais EPB I et EPB II sont supérieure à la norme.

❖ **Silice (Si), phosphate (PO₄³⁻) et TAC**

En général, les trois paramètres sont toujours présents dans l'eau. Leurs quantités varient selon l'environnement existant. Sur l'étude de qualité d'eau, ils n'ont pas de valeur guide. Mais la connaissance sur ces trois éléments est nécessaire. Leurs présences ont d'impact sur la conductivité électrique de l'eau. Les valeurs maximales de ces trois éléments sont respectivement 36,86 mg/L, 5,30 mg/L et 32,00 mg/L. Les valeurs minimales de ces trois éléments sont respectivement 4,09 mg/L, 1,4 mg/L et 1,00 mg/L. La figure suivante présente les variations moyennes par puits de ces trois éléments.

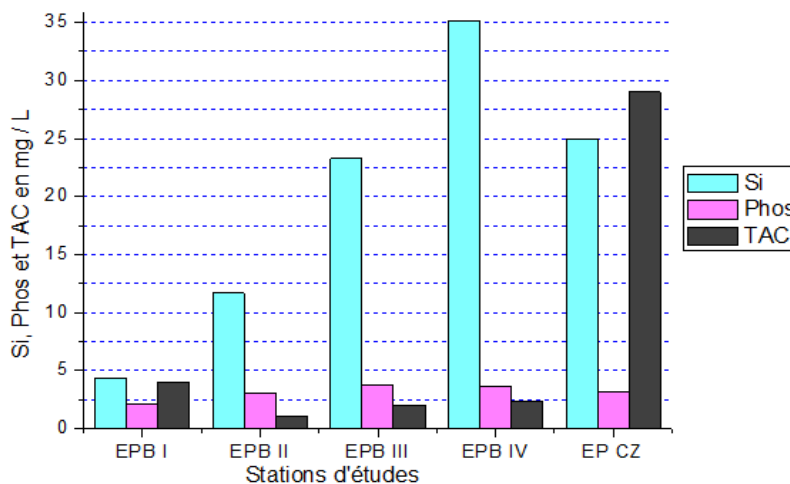


Figure 12: Valeurs moyennes par puits de Si, Phos et TAC.

Cette figure nous montre que la silice présente toujours de valeur plus élevée sauf dans l'EPCZ. Dans les quatre premiers puits, les valeurs moyennes de TAC sont toujours basses mais sa valeur est très élevée dans l'EPCZ. Dans tous les puits, les valeurs moyennes de phosphates restent toujours minimales.

❖ **Nitrates (NO₃⁻) et nitrites (NO₂⁻)**

L'existence en excès de ces deux éléments dans l'eau indique que l'eau est mauvaise à la consommation humaine. Les valeurs limites recommandées par OMS sont 50 mg/L en nitrates et 0,1 mg/L en nitrites. Durant les périodes d'études, les nitrites sont toujours absents. On remarque seulement l'apparition des nitrates dans l'EPB II. Dans le premier prélèvement, sa valeur était 100 mg/L et dans les deux derniers prélèvements, ses valeurs sont toujours 50 mg/L. Du point de vu de nitrates, l'EPB II est un peu mauvaise à la consommation.

3.1.2. Matrice de corrélation

Tableau 3: Matrice de corrélation (Pearson (n)) des éléments physico-chimiques des puits étudiés.

Variables	pH	TDS	CE	MES	Tur	T°	TAC	Ca	Mg	TH	O ₂	Si	Fe	Mn	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ⁻	Couleur
pH	1																
TDS	0,036	1															
CE	0,029	0,999	1														
MES	0,315	0,866	0,859	1													
Tur	0,201	0,903	0,902	0,963	1												
T°	-0,106	0,235	0,235	0,163	0,198	1											
TAC	0,322	0,954	0,953	0,891	0,905	0,179	1										
Ca ²⁺	0,147	0,569	0,571	0,220	0,259	0,284	0,602	1									
Mg ²⁺	0,092	0,520	0,522	0,149	0,191	0,288	0,539	0,996	1								
TH	0,121	0,543	0,546	0,183	0,224	0,285	0,570	0,999	0,999	1							
O ₂	0,007	-0,721	-0,727	-0,603	-0,694	-0,573	-0,696	-0,455	-0,423	-0,440	1						
Si	0,570	0,019	0,025	0,141	0,144	-0,045	0,179	0,181	0,157	0,169	0,233	1					
Fe	0,140	0,774	0,767	0,802	0,848	-0,063	0,781	0,160	0,097	0,127	-0,459	0,006	1				
Mn	0,110	0,470	0,473	0,094	0,139	0,253	0,502	0,991	0,995	0,994	-0,388	0,150	0,071	1			
PO ₄ ³⁻	0,121	-0,090	-0,095	-0,064	-0,051	0,742	-0,068	0,182	0,188	0,185	-0,126	0,328	0,231	0,175	1		
NO ₃ ⁻	-0,824	-0,030	-0,027	-0,254	-0,194	0,141	-0,287	-0,135	-0,093	-0,118	0,227	-0,312	0,128	0,107	0,026	1	
Couleur	0,181	0,711	0,714	0,859	0,886	0,245	0,729	0,039	-0,027	0,005	-0,690	0,016	0,696	0,065	-0,045	0,248	1

La matrice de corrélation présente la relation entre deux éléments. Si la corrélation est élevée (proche de +1), la relation entre deux éléments est très significative et dans le cas contraire, la relation est faiblement significative. Dans notre cas, la matrice de corrélation présente des relations étroites entre plusieurs éléments à savoir :

- TDS/CE, MES, Tur, TAC, Fe et couleur.

Ces coefficients de corrélation varient de 0,741 à 0,999. Les plus dominants entre eux sont TDS/CE, TDS/TAC et TDS/Tur. Ses valeurs sont respectivement 0,999 et 0,953 et 0,903.

- TH/Ca²⁺, Mg²⁺ et Mn

La somme de Ca²⁺ et Mg²⁺ forme TH. Leurs relations sont très élevées et très proche de 1 qui est égale à 0,999 pour les deux éléments. TH/Mn a une relation très significative qui est égale à 0,994 et Mn a aussi une signification très élevée à Ca²⁺ et Mg²⁺.

- CE/MES, Tur, TAC, Fe et couleur.

Ces coefficients de corrélation ont une signification inférieure à celle de TDS. Elles varient de 0,953 à 0,714. CE/TAC et CE/Tur ont une signification plus élevée entre eux.

- MES/Tur, TAC, Fe et couleur.

La valeur la plus dominante est 0,963 qui appartient à MES/Tur et pour MES/Fe le moins significative entre eux qui est égal à 0,802.

- Tur/TAC, Fe et couleur

Les valeurs enregistrées sont respectivement 0,905, 0,848 et 0,886. La relation entre turbidité et TAC est très significative entre eux.

- TAC/Fe et Couleur

Parmi les éléments cités, ces relations ont des valeurs plus basses. Ses valeurs sont respectivement 0,781 et 0,886. Suggestion :

Parmi les éléments qui ont une forte relation entre eux, TDS, et MES sont les éléments les plus dominants dans les sources étudiées. Ils rendent l'eau mauvaise à la consommation humaine. On les trouve principalement dans l'EPCZ (Eau de puits Clinique Zanatany). Pour les autres éléments, ces significations ne rendent pas de qualité inutile sauf excès de TH en première période d'échantillonnage et couleur de l'EPCZ. Dans les autres puits, la quantité des éléments chimiques est très faible. Nous mentionnons que notre premier prélèvement était également la première utilisation du puits Clinique Zanatany EPCZ (nouveau puits). Et vu la qualité de ce premier prélèvement, il est conseillé de vider plusieurs fois un puits avant son utilisation. De plus, ce puits se trouve dans un ex-étang et ex-

décharge, donc il est exposé à un fort risque de contamination. De ce fait, il est fortement conseillé de bien choisir l'emplacement d'un puits.

3.1.3 Analyse en Composantes Principales

Tableau 4: Présentation de valeurs propres, pourcentage de variable et pourcentage des variables cumulés.

	F1	F2	F3	F4
Valeur propre	7,768	3,582	2,254	1,744
Variabilité (%)	45,694	21,073	13,257	10,261
% cumulé	45,694	66,767	80,024	90,285

Le pourcentage cumulé présente que les quatre premiers facteurs ont une inertie de 90,285 %. Les axes F1 et F2 ont une inertie 66,767 %. Donc les deux tiers d'information sont centrées sur ces axes.

Tableau 5: Corrélations entre les variables et les quatre premiers facteurs.

Variables	F1	F2	F3	F4
pH	0,235	-0,030	-0,919	0,096
TDS	0,955	-0,143	0,187	-0,105
CE	0,955	-0,139	0,190	-0,107
MES	0,833	-0,488	-0,093	0,072
Tur	0,871	-0,462	-0,003	0,079
T°	0,325	0,279	0,316	0,814
TAC	0,979	-0,127	-0,094	-0,095
Ca ²⁺	0,690	0,705	-0,019	-0,160
Mg ²⁺	0,636	0,753	0,018	-0,165
TH	0,663	0,730	-0,003	-0,163
O ₂	-0,784	0,050	-0,261	-0,271
Si	0,138	0,155	-0,714	0,177
Fe	0,713	-0,512	0,021	-0,182
Mn	0,597	0,775	-0,005	-0,191
PO ₄ ³⁻	0,051	0,397	-0,069	0,851
NO ₃ ⁻	-0,243	0,067	0,798	-0,021
Couleur	0,703	-0,589	0,012	0,228

Ce tableau nous présente la corrélation entre les variables et les quatre premiers facteurs. Les inerties sur les F1, F2, F3 et F4 sont respectivement 45,69%, 21,07%, 12,26% et 10,26%. Nous avons présenté seulement le cercle de corrélation formé par le plan F1 et F2. Au total, les facteurs F1 et F2 présente 66,77% d'inertie.

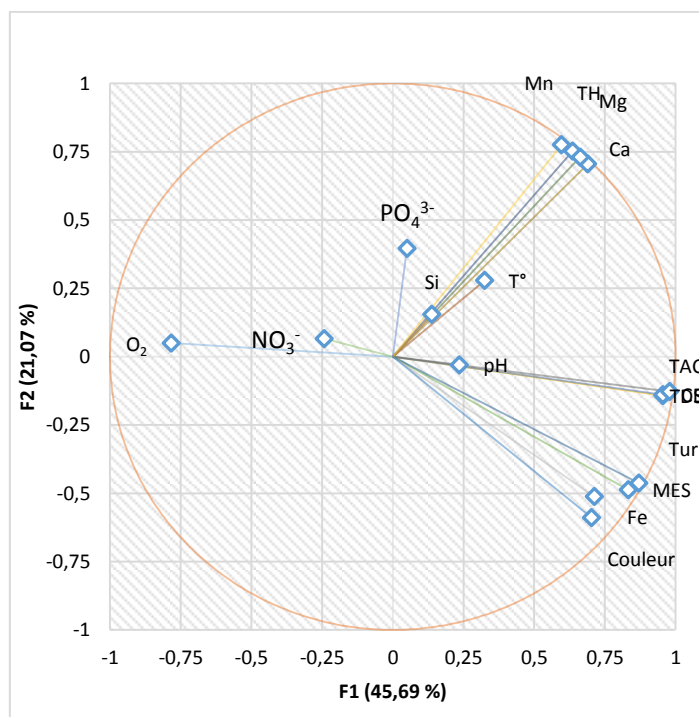


Figure 13: Présentation des variables sur le cercle de corrélation (axes F1 et F2 : 66,77%)

Le plan F1 présente 45,69% d'information des éléments et le plan F2 présente 21,07% d'information. Une inertie de 66,67% est formée par F1 et F2. Sur le plan F1, les corrélations de Mn, TH, Mg²⁺ et Ca²⁺ sont très élevées. Ces éléments présentent une forte corrélation positive sur la partie ¼ à droite et en haut. En ce qui concerne la couleur, Fe, MES, Tur TAC et TDS, ils sont aussi fortement corrélés sur le plan F1 mais ils occupent la partie ¼ à droite et en bas. Pour Phos, Si, T° et pH, ils ont des valeurs positives mais ils ne sont pas fortement corrélés. Donc ils ne sont pas bien expliqués sur le plan F1. Les NO₃⁻ et O₂ ont une corrélation négative sur le plan F1. Donc ils ne sont pas significatifs sur ce plan.

Sur le plan F2 : seul NO₃⁻ et O₂ se trouvent sur la partie ¼ en haut et à gauche, ils présentent une signification faible. Les corrélations de Mn, TH, Mg²⁺ et Ca²⁺ sont très élevées sur le plan F2. Seuls ces trois éléments présentent une forte corrélation sur ce plan. Pour la couleur, Fe, MES, Tur TAC et TDS, ils ont de corrélation négative sur ce plan. Et pour les autres éléments, ils sont corrélés faiblement positif, donc ils sont mal à expliquer. Donc ils peuvent être bien expliqués par des autres plans.

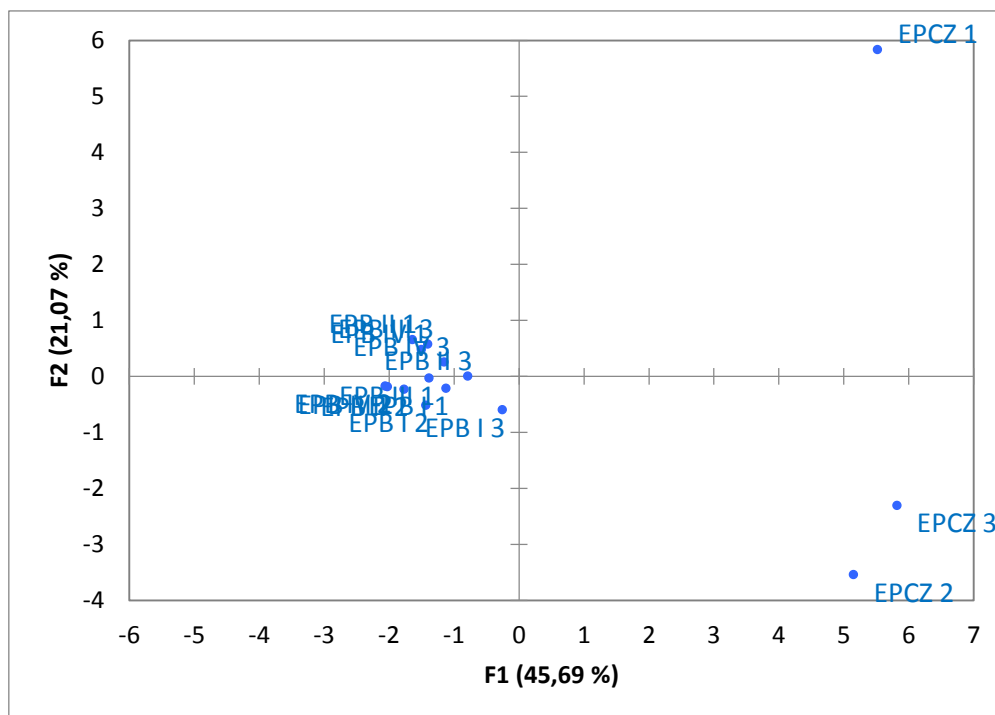


Figure 14: Répartition des échantillons par saison (axes F1 et F2 : 66,77 %).

La répartition des échantillons sur le plan factoriel F1, F2 fait apparaître qu'il est possible d'isoler plus aisément des petits groupes d'échantillons selon la classification ascendante hiérarchique (CAH). Après avoir analysé la ressemblance des éléments physico-chimiques des eaux de puits de Bealanana dans des trois analyses successives en période différente, elles sont classées en cinq classes.

La première classe appartient à l'eau de puits de Bealanana I (EPB I 1, EPB I 2 et EPB I 3). C'est-à-dire EPB I durant les trois périodes d'échantillonnage. Durant ces trois périodes, la qualité physico-chimique de l'eau de ce puits reste invariable. On peut dire que ce puits n'est pas contaminé malgré que la quantité des éléments nécessaires soit insuffisante. Dans ce cas, le traitement reste invariable à chaque saison. Cette première classe est groupée dans une classe difficile à expliquer car elle n'a pas de valeur exceptionnelle. Les deuxième et troisième classes appartiennent respectivement à EPB II et EPB III, EPB IV en toutes saisons. Les deux classes ont une ressemblance particulière. Par rapport aux autres puits, elles ont des valeurs très élevées en oxygène dissous. Ces valeurs varient de 7,94 à 10,9 mg/L. L'excès de ces valeurs indique que les deux classes d'eaux sont très bonnes à la consommation. Seule la deuxième classe présentant l'existence de nitrate distingue ces deux classes. Durant toutes les saisons, on ne trouve que très peu de changement sur les deux classes. Du point de vu de contamination extérieure, malgré la présence de nitrate en quantité limité, les trois puits ne sont pas contaminés.

Les quatrième et cinquième classes appartiennent seulement à l'eau de puits de Clinique Zanatany (EPCZ). Ils sont respectivement EPCZ 1 (en saison de pluie 2021) et EPCZ 2, EPCZ 3 (en saison sèche 2021 et en saison de pluie 2022). Les valeurs de ces dernières classes sont en générale exceptionnelle. La quatrième classe présente une dureté très élevée (1711,84 mg/L) et aussi l'excès en manganèse (42,6 mg/L). Pour la cinquième classe, elle a une valeur exceptionnelle en fer (Fe), matière en suspension (MES), turbidité (Tur), alcalinité totale (TAC) et total solide dissous (TDS). Ses valeurs maximales sont respectivement 1,49 mg/L, 22 mg/L, 50,3 NTU, 30°f et 418 mg/L. La variation de

teneurs en élément chimique de ce puits nous montre que la quantité des éléments chimiques d'un nouveau puits est différente à un puits ancien. L'existence de valeurs très élevées, qui rend l'eau très risquée à la consommation, a comme origine le mauvais emplacement de puits.

3.2. Résultats d'analyses 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 pour déterminer la présence ou l'absence d'une pollution indiquant une contamination fécale.

❖ **Germes totaux**

La concentration élevée en germes microbiens dans les différents puits indique que les eaux de puits ne sont pas bonnes à la consommation humaine. La quantité de germes peut varier selon la saison. La figure suivante présente l'évolution saisonnière des germes totaux dans les échantillons.

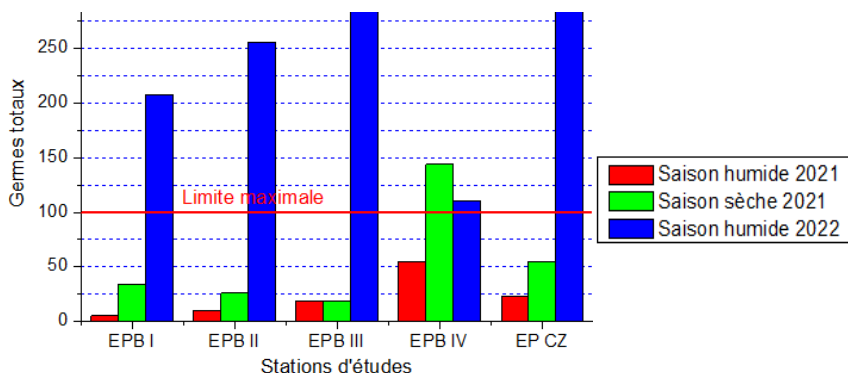


Figure 15: Diagramme des germes totaux par mL d'échantillons.

Tous les puits étudiés sont contaminés par des germes totaux. La valeur minimale est enregistrée dans EPB I en saison de pluie 2021, d'une concentration de 5 ufc/mL, tandis que la valeur la plus importante des germes totaux est enregistrée dans l'EPB III, d'une concentration de 300 ufc/mL. Dans la saison humide 2022, la quantité des germes totaux est énorme, ils dépassent largement la limite maximale exigée par l'OMS. La forte contamination des puits par les germes totaux pourrait être due à la mauvaise protection des puits. La présence de germes élevés signale que le traitement est largement nécessaire pour tous les puits.

❖ **Coliformes totaux**

5/15 d'échantillons analysés ne présentent aucune contamination en CT, alors que la densité de ces derniers dans le reste des puits 10/15 varie entre une valeur minimale de 2 ufc/mL trouvée dans EPB II en saison de pluie 2022 et une valeur maximale de 70 ufc/mL dans EPB III. Les valeurs élevées des CT pourraient être expliquées par une pollution fécale causée par les rejets domestiques et l'existence des fausses septiques ou des latrines dans les terrains voisins.

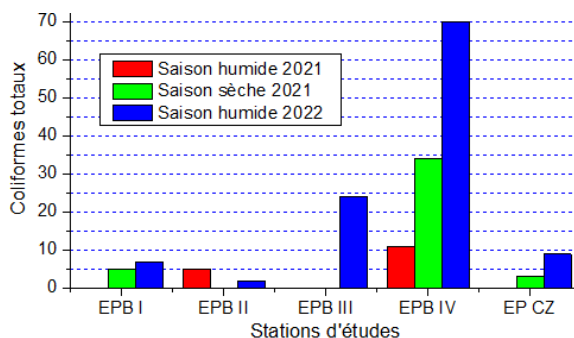


Figure 16: Diagramme des coliformes totaux par mL d'échantillons.

❖ **Coliformes fécaux**

La présence de coliformes fécaux peut indiquer de la présence des microorganismes entéropathogènes, comme les salmonelles et le virus de Norwalk. Notre étude nous montre que 10/15 de nos échantillons ne présentent pas de germe en CF. Dans 5/15, on trouve l'apparition des CF dont la valeur minimale est de 2 ufc/mL et maximale est 15 ufc/mL. Ces valeurs sont enregistrées au niveau d'EPB IV. Durant les trois périodes d'étude, ce puits est toujours

contaminé en CF. Ce puits est placé au centre de l'établissement de lycée public et utilisé par les habitants aux alentours. Il est donc contaminé par les utilisateurs. La figure suivante présente le nombre de CF durant les trois périodes d'études.

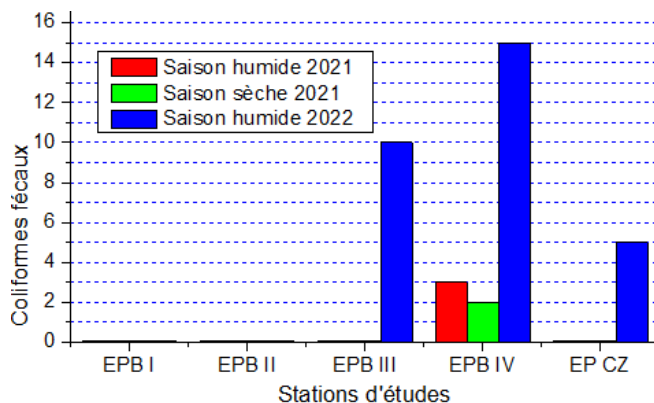


Figure 17: Diagramme des coliformes fécaux par mL d'échantillons.

❖ *Entérocoques intestinaux en UFC/mL d'échantillon*

La recherche des entérocoques intestinaux dans les puits étudiés montre que 8/15 des échantillons analysés ne sont pas contaminés et 7/15 des échantillons analysés sont contaminés. La concentration des Entérocoques intestinaux dans ces puits varie entre une concentration minimale de 2 ufc/mL enregistrée dans EP CZ en saison de pluie 2021, et une concentration maximale de 16 ufc/mL enregistrée dans EPB IV en saison de pluie 2021.

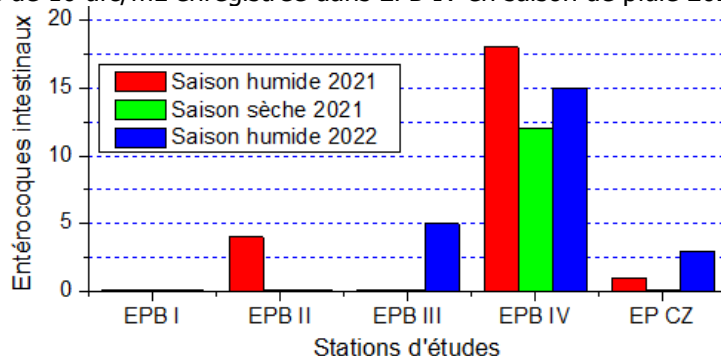


Figure 18: Diagramme des germes totaux par mL d'échantillons.

❖ *E-coli en UFC/mL d'échantillon*

E. coli permet de mettre en évidence une pollution d'origine fécale. Elle provient exclusivement des intestins d'animaux à sang chaud, y compris les humains, et sa présence est l'indicateur le plus précis de la contamination fécale [13].

Durant les périodes d'études, un seul germe *E-coli* (1ufc/mL) apparaît en dernière échantillon 2022. Il témoigne que l'eau de puits Bealanana III (EPB III) est contaminée par une pollution d'origine fécale humaine. Sur ce point, la distance entre le puits et le WC est très étroite (environ 3 m) ce qui pourrait expliquer la source de la pollution fécale dans l'eau de ce puits. Pour la protection sanitaire, l'installation des puits doit être placée à une distance élevée des WC.

❖ *Clostridium sulfito-réducteurs par mL d'échantillon*

Les puits étudiés ne présentent aucune contamination par les clostridiens sulfito-réducteurs

Nous constatons d'après cette étude microbiologique que les eaux des puits étudiées présentent une contamination bactérienne d'origine humaine et animale. La nature des germes rencontrés (GT, CT, CF et *E-coli*) et leur quantité dépassent les normes admises pour l'eau de consommation. Ils rendent l'eau des puits étudiés impropre à la consommation. Cette situation 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].

4. CONCLUSION

Les résultats obtenus au cours de nos études témoignent d'une pollution de deux types: Une pollution microbienne, d'origine naturelle et humaine et une autre de nature physico-chimique (organique et/ou minérale) de faible importance d'origine naturelle et domestique.

Les eaux des puits étudiés sont acides. Pour EPB I et EPB II, ces valeurs sont largement inférieures à la norme de l'OMS. A long terme, des carences en calcium et magnésium apparaissent aux consommatrices de ces eaux. Un grand risque peut apparaître lors de l'excès en manganèse dans EPB I, EPB II et surtout pour EPCZ. D'après nos résultats, les eaux de puits étudiées peuvent être réparties en cinq classes. Ces classes peuvent être représentés en trois groupes à savoir le premier groupe : EPB I, EPB II, EPB III et EPB IV en toute saison, deuxième groupe : EPCZ en saison de pluie de 2021 et le troisième groupe : EPCZ en saison sèche de 2021 et en saison de pluie de 2022. Les groupes de ces eaux indiquent que les traitements se différencient d'un groupe à l'autre. Du point de vue bactériologique, la présence des germes dans toutes les eaux de puits indique que ces eaux sont contaminées. C'est-à-dire elles ne sont pas potables. La surveillance dans toute la période est nécessaire surtout pour EPB III. Le puits et les latrines ou autres installations d'évacuation des excréta doivent avoir une distance d'au moins 15 m [16].

On rappelle ici que l'objectif de notre est de connaître la qualité des eaux de puits de Bealanana afin de prendre les précautions correspondantes. Pour éviter tout risque sanitaire lié à la consommation de ces eaux, il est conseillé de les traiter à l'échelle familiale. Pour éviter l'effet à court terme, l'emploi de désinfectant est recommandé. L'exception des résultats d'analyse obtenus dans EPCZ nous montre que cette source ne mérite pas d'être utilisée comme une source d'eau de consommation. Le choix de l'emplacement du puits doit être fait par les services chargés de l'hydraulique en tenant compte des désirs de la population et de l'hydrogéologie du terrain [10].

5. REFERENCES

1. Landitiana M. S. «Inégalités d'accès et coproduction du service d'eau dans les quartiers pauvres de Toamasina (Madagascar),» Thèse de doctorat. 294 pages, UNIVERSITE DE TOAMASINA (MADAGASCAR), 2012.
2. SORO G. et al, «Application des méthodes statistiques multivariées à l'étude hydrochimique des eaux souterraines de la région des lacs (centre de la Côte d'Ivoire). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 2019 ; 13(3): 1870-1889. Available on: DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3.54>
3. Projet d'E.S.D.D.A.E TaToM, «Projet d'Elaboration du Schéma Directeur pour le Développement de l'Axe Economique TaToM. Plan d'Urbanisme Directeur de l'agglomération d'Antananarivo» Antananarivo-Toamasina, Madagasikara, 2019.
4. Calow C.R. et al. Ground water security and drought in Africa: Linking availability, access and demand. *Ground Water*, 2010 ; 8(2), pp. 246-256. Available on: DOI: <http://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2009.00558.x>.
5. Belghiti M.L. et al. Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe Plio-Quaternaire dans la région de Meknès (Maroc). *Larhyss Journal*. 2013; 14 : 21-36.
6. Ayad W. and kahoul. Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits dans la région d'El-Harrouch (N.E -Algérie). *J. Mater. Environ. Sci.* 2016; 7(4) : 1288-1297.
7. Akoteyon I.S. Characterization of groundwater hydrochemistry and quality assessment in Eti-Osa, Lagos-Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management*. 2013; 6(2): 201-214. Available on: DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ejesm.v6i2.11>
8. Biémi J. «Contribution à l'étude géologique, hydrogéologique et par télédétection des bassins versants Subsahéliens du socle précambrien d'Afrique de de l'Ouest : Hydro structurale, hydrochimie et isotopie des aquifères discontinus des sillons et aires granitiques,» de la haute Marahoué (Cote d'Ivoire). Thèse de doctorat d'Etat ès Sciences Université Nationale de Côte d'Ivoire, 1992. Available on: <https://eujournal.org> > esj > article > view
9. Beaux J. F, «L'environnementrepères,» repères pratiques. Nathan, ISBN 2-09-18243-3, 1988 ; pp. 64-71.
10. 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.
11. Rodier J. et al, «L'analyse de l'eau - Eaux naturelles et Eaux résiduaires et Eau de mer,» Dunod, 8^{ème} édition. 2005.
12. Kahoul M. et Touhami M. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie). *Larhyss Journa.*, 2014 ; 19: 129-138,
13. Rodier J. et al, «. L'analyse de l'eau, Ed.,» Dunod, 2009 ; 78- pp 1368.
14. 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.
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; 646(4): 50-55.
16. Hawa S. «ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTERIOLOGIQUE AU L.N.S. DES EAUX DE CONSOMMATION DE LA VILLE DE BAMAKO DURANT LA PERIODE 2000 ET 2001,» Thèse de doctorat. Université de Bamako. 2002. . Available on: www.gs2i.fr/fineprint/pdfactory.htm



Cite this article: Jaofara, Bisoa Victor, Razafitsiferana Théophile et Lehimena Clément. ANALYSES QUALITATIVES DES EAUX DE PUIITS DANS LA COMMUNE URBAINE DE BEALANANA, REGION SOFIA, MADAGASCAR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2022; 14(5): 239-252.

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/>