

Evaluation des Impacts Environnementaux et Sanitaires Liés aux Analyses Physico-Chimique et Bactériologique de la Rivière Matsiatra à Fianarantsoa, Madagascar

Andry Harinaina Rabearisoa, PhD

Bertrand Manjolongo, MA

Ravo Victoire Nasolomampionona, MA

Hajandrainy Rabearisoa, Doctorant

Université de Fianarantsoa, Ecole Normale Supérieure,
Sciences et technologies, Fianarantsoa, Madagascar

Bruno Razanamparany, Professeur

Université d'Antananarivo, Ingénierie en Sciences et Techniques de l'eau,
laboratoire de Chimie de la faculté des sciences, Antananarivo, Madagascar

Nasolo Sedravola Randimbiarison, MA

Université de Fianarantsoa, Faculté des Lettres et sciences humaines,
Fianarantsoa, Madagascar

[Doi:10.19044/esj.2023.v19n36p206](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n36p206)

Submitted: 05 October 2023

Accepted: 25 December 2023

Published: 31 December 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

Cite As:

Rabearisoa A.H., Manjolongo B., Nasolomampionona R.V., Rabearisoa H., Razanamparany B. & Randimbiarison N.S. (2023). *Evaluation des Impacts Environnementaux et Sanitaires Liés aux Analyses Physico-Chimique et Bactériologique de la Rivière Matsiatra à Fianarantsoa, Madagascar*. European Scientific Journal, ESJ, 19 (36), 206.

<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n36p206>

Résumé

L'eau est une source de vie mais peut aussi être source de maladies, notamment dans les pays en développement, comme Madagascar. Les sites d'étude à Ankijana sont situés en dessous du pont de la route nationale RN4 et proches des sociétés BIONEX et QUIMPEX dans les coordonnées géographiques suivantes : longitude Est entre 47,08 et 47,20, latitude Sud entre -21,30 et -21,50. L'objectif principal de l'étude est d'évaluer les risques sanitaires et environnementaux liés à la qualité des eaux de rivière. Pour atteindre l'objectif, 23 échantillons ont été collectés en mars 2023. Des mesures in situ de température et de pH ont été effectuées, suivies d'analyses approfondies in vitro. Des paramètres physico-chimiques de l'eau de la rivière

a été évaluée, incluant la conductivité électrique, les matières dissoutes, le chlorure, le chlorure de sodium, la turbidité et la demande biochimique en oxygène. La contamination fécale a été quantifiée par coliformes totaux et streptocoques fécaux, analysés par filtration sur membrane. Les effets de la qualité de l'eau ont été évalués à l'aide de techniques statistiques comme l'analyse en composantes principales. Ainsi, les résultats d'analyse ont montré que les eaux étudiées ont un pH moyen de 6,56, ce qui les rend acides. Les températures moyennes, les conductivités électriques, les teneurs en solides totaux dissous et les turbidités des eaux étudiées sont respectivement de 24,74°C, 24µS/cm, 12,65ppm et 36,8NTU. La teneur en chlorure (92,61mg/L), en chlorure de sodium (144,14mg/L) et en demande biochimique en oxygène (1,14 mg/L d'O₂) des eaux étudiées sont faibles, ce qui indique de faible pollution chimique pendant la période de pluie. Les analyses microbiologiques ont révélé la présence de coliformes thermotolérants à une concentration moyenne de 11 ufc/100mL et de streptocoques fécaux à un niveau de 134 ufc/100mL dans les eaux étudiées indiquant une contamination fécale. Ainsi, la rivière comporte des risques pour la santé, résultant de la consommation d'eau et d'autres activités, notamment des loisirs, en raison des rejets industriels et domestiques, de l'utilisation de produits liés à la pêche et des déchets agricoles. Cette altération de la qualité de l'eau pourrait également entraîner la disparition de certaines espèces aquatiques.

Mots-clés: Eaux de rivière, risques environnementaux et sanitaires, analyse statistique, contamination chimique et microbiologique

Assessment of Environmental and Health Risks Related to Physico-Chemical and Bacteriological Analyses of the Matsiatra River in Fianarantsoa, Madagascar

Andry Harinaina Rabearisoa, PhD

Bertrand Manjolongo, MA

Ravo Victoire Nasolomampionona, MA

Hajandrainy Rabearisoa, Doctorant

Université de Fianarantsoa, Ecole Normale Supérieure,

Sciences et technologies, Fianarantsoa, Madagascar

Bruno Razanamparany, Professeur

Université d'Antananarivo, Ingénierie en Sciences et Techniques de l'eau,
laboratoire de Chimie de la faculté des sciences, Antananarivo, Madagascar

Nasolo Sedravola Randimbiarison, MA

Université de Fianarantsoa, Faculté des Lettres et sciences humaines,
Fianarantsoa, Madagascar

Abstract

Water is a source of life, but it can also be a source of disease, especially in developing countries like Madagascar. The study sites in Ankijana are located below the bridge of the national road RN4 and near the BIONEX and QUIMPEX companies at the following geographic coordinates: longitude East between 47.08 and 47.20, latitude South between -21.30 and -21.50. The main objective of the study is to assess the health and environmental risks associated with the quality of river water. To do this, physicochemical (temperature, pH, electrical conductivity, total dissolved solids, chloride, sodium chloride, turbidity and biochemical oxygen demand) and microbiological (thermotolerant coliforms and fecal streptococci) analyses as well as principal component analysis were performed on 23 samples collected from the SP01, SP02 and SP03 sites. The results of the analysis showed that the waters studied have an average pH of 6.56, making them acidic. The average temperatures, electrical conductivities, total dissolved solids and turbidities of the waters studied are 24.74°C, 24µS/cm, 12.65ppm and 36.8NTU, respectively. The chloride (92.61mg/L), sodium chloride (144.14mg/L) and biochemical oxygen demand (1.14 mg/L of O₂) contents of the waters studied are low, indicating low chemical pollution during the rainy season. Microbiological analyses revealed the presence of thermotolerant coliforms at an average concentration of 11 ufc/100mL and fecal streptococci at a level of 134 ufc/100mL in the waters studied indicating fecal contamination. Thus, the river poses health risks from water

consumption and other activities, including recreation, due to industrial and domestic waste, the use of fishing-related products and agricultural waste. This deterioration of water quality could also lead to the extinction of some aquatic species.

Keywords: River water, environmental and health risks, statistical analysis, chemical and microbiological contamination

Introduction

L'eau, cruciale pour la vie, est au cœur de l'existence humaine, animale et végétale (Vissin, et al., 2016). Malgré son importance, 884 millions de personnes, principalement en Afrique, consomment de l'eau non potable (OMS, 2011). En 2020, seuls 74 % de la population mondiale et 33 % de la population Malagasy avaient accès à une eau potable (Pierre Aubry, 2023 ; Taglioni, 2019). En raison du manque de ressources en eau douce, les populations Malagasy utilisent les eaux de surface, notamment celles des rivières, à la fois comme source d'eau de consommation et pour leurs activités récréatives.

Dans les pays en développement, l'utilisation d'eau sans traitement est fréquente. À Ialanandiro, près de la rivière Matsiatra, notre enquête a montré une augmentation de la consommation d'eau pendant les coupures de la JIRAMA, et des pénuries d'eau potable de juillet à novembre entre 2019 et 2022. Cette pratique est risquée, car les eaux de rivière peuvent être contaminées par des bactéries et des contaminants chimiques selon les études antérieures menées par Abahi et al. (2023) et Edokpayi et al. (2017). La pollution des rivières, un problème fréquent dans les pays en développement, est principalement due à des facteurs tels que la croissance démographique, l'intensification agricole et le développement industriel, comme indiqué par Abahi et al. (2023), Leigh et al. (2010). Il est important de noter que la pollution des rivières résulte de diverses substances rejetées directement ou indirectement dans l'eau ou le bassin versant, comprenant des éléments nutritifs, des matières organiques, des micropolluants, des microorganismes, des déchets (Zirirane et al., 2017) et des rejets physico-chimiques (Edokpayi et al., 2017). Les rivières peuvent être affectées par diverses formes de pollution, qu'elles proviennent de sources naturelles ou humaines (Bramard, 2022).

La dégradation de la qualité de l'eau a des conséquences néfastes sur la santé humaine et la biodiversité aquatique (Dudgeon, et al., 2006). Les microbes provenant des rejets domestiques ou industriels peuvent causer diverses maladies, dont le choléra, la bilharziose et la diarrhée, affectant particulièrement les enfants (Sokegbe, et al., 2017 ; Viland, et al., 2016). Chaque année, environ 1,8 million de personnes décèdent de maladies

diarrhéiques et de choléra, selon l'OMS (2005), avec près de 22% des décès d'enfants de moins de cinq ans à Madagascar attribués à ces maladies (Taglioni, 2019). De plus, la pollution chimique, notamment le chlorure de sodium, peut entraîner des problèmes d'hypertension artérielle (Hartemann, 2013). Les écosystèmes aquatiques sont également impactés par la contamination chimique, les produits chimiques provenant des eaux agricoles et des eaux usées pouvant piéger les espèces aquatiques et favoriser la prolifération des algues, entraînant une diminution de l'oxygène dissous et l'asphyxie des organismes aquatiques (Nawel Aouadi, 2018).

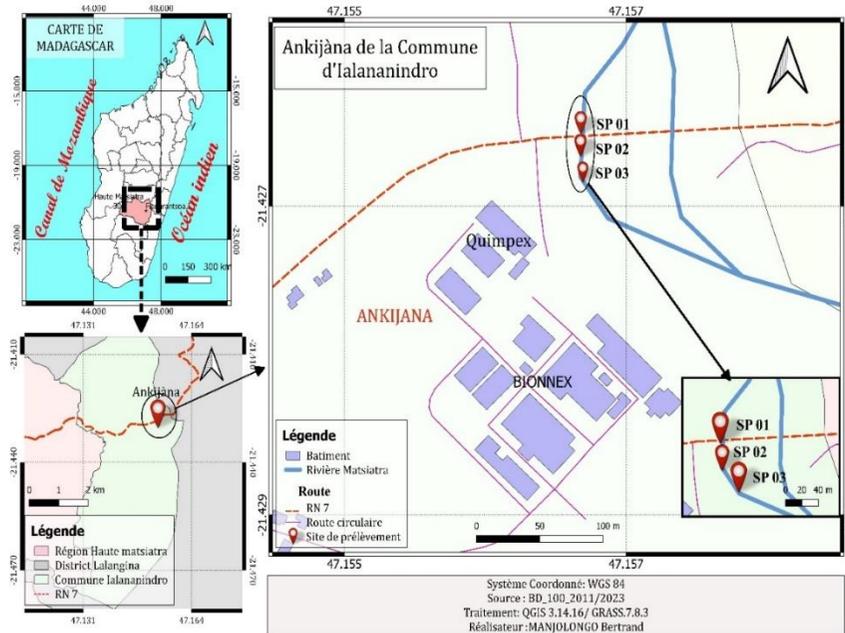
L'objectif principal de cette étude est d'évaluer les risques environnementaux et sanitaires associés à la qualité de l'eau de la rivière Matsiatra dans la zone d'étude. En utilisant des données qualitatives pour caractériser les aspects physico-chimiques et bactériologiques, nous visons à améliorer la compréhension de ces risques liés à l'eau.

Materiels et methodes

Zone d'étude

La commune d'Ialanandro est située dans la région Haute Matsiatra de la province de Fianarantsoa à Madagascar, à des coordonnées géographiques comprises entre 47,08 et 47,20 de longitude Est et entre -21,30 et -21,50 de latitude Sud, comme indiqué sur la figure 1. La rivière Matsiatra traverse cette commune et la ville de Fianarantsoa, suivant un cours sinueux, et constitue une importante source d'eau pour l'irrigation des cultures et l'approvisionnement en eau.

La rivière traverse le pont de la route nationale RN7, à proximité des sociétés BIONEX et QUIMPEX, dans le village d'Ankijana, avant de s'écouler vers l'Est en direction de l'Océan Indien. Pour cette étude, les sites de prélèvements (SP) ont été choisis entre ce pont et ces sociétés, avec des coordonnées géographiques variant entre 47°155' et 47°157' de longitude Est et entre -21°429' et -21°432' de latitude Sud et ont été situés au milieu de la rivière Matsiatra. Ces sites sont les suivants : SP01, avec des coordonnées E047°09'390'' et S21°25'610'' ; SP02, situé à E047°09'390'' et S21°25'610'' ; et SP03, se trouvant à E047°09'451'' et S21°25'614''.



Les coordonnées géographiques des points d'échantillonnage ont été collectées à l'aide d'un dispositif GPS Garmin Map 64 SC.

Echantillonnage

Durant la saison des pluies au mois de mars 2023, un total de vingt-trois échantillons d'eau, repartis en 7 pour le site SP01, 7 pour le site SP02 et 9 pour le site SP03, a été prélevé deux fois par jour sur une période de cinq jours. L'échantillonnage a été effectué à trois emplacements comme illustré dans la figure 2. Les échantillons destinés aux analyses physico-chimiques ont été recueillis dans des bouteilles en polyéthylène d'une capacité de 1 litre. Pour les échantillons destinés aux analyses bactériologiques, des flacons de verre transparent stérilisés de 500 mL ont été utilisés. Les prélèvements ont été effectués en utilisant la méthode d'échantillonnage à gué jusqu'à une profondeur de 50 cm sous la surface de la rivière, conformément à la méthode décrite par Jean RODIER (2009).

Les bouteilles ont été étiquetées, stockées dans une glacière contenant de la glace, puis transportées au laboratoire. Conformément à la norme ISO 5667-3 de juin 2004, les échantillons d'eau ont été conservés à une température de 4°C en attendant leur analyse en laboratoire.

Analyses physico-chimiques

Les mesures des paramètres physico-chimiques, tels que la température et le pH, ont été effectuées in situ entre 8h du matin et 15h l'après-midi à chaque station d'étude. La température a été relevée à l'aide d'un

thermomètre digital JR-1, tandis que le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre de type CE selon le protocole de mesure in situ de Jean Rodier (2009).

Les autres paramètres, notamment la conductivité, les solides totaux dissous (TDS), la turbidité, les chlorures (Cl^-), la demande biochimique en oxygène (DBO5), ainsi que des analyses qualitatives comme les tests des ions Fe^{2+} et Fe^{3+} et la photométrie de flamme, ont été réalisés en laboratoire. La conductivité électrique et les TDS ont été mesurés à l'aide d'un TDS&EC-mètre de type E-1. La turbidité a été déterminée au moyen d'un turbidimètre de type Palintest®. Les analyses qualitatives ont été effectuées de la manière suivante : le test des ions Fe^{2+} et Fe^{3+} a été réalisé en utilisant une solution de soude NaOH, et l'identification des ions Na^+ a été effectuée à travers la photométrie de flamme en introduisant quelques gouttes d'eau dans la flamme (CGP, 2020).

La mesure de la Demande Biochimique en Oxygène (DBO5) a été effectuée à l'aide d'un analyseur multiparamètre WTW 340i, en suivant le protocole établi par Jean Rodier (2009). Initialement, la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques biodégradables par voie biologique a été déterminée avant l'incubation de 100 mL et 150 mL d'échantillons, auxquels un ensemencement a été ajouté. Ensuite, la mesure a été répétée après une période d'incubation de cinq jours à 20 °C, dans un environnement obscur. La différence entre ces deux valeurs est considérée comme la Demande Biochimique en Oxygène (DBO5), calculée selon la formule suivante :

$$\text{DBO5}(\text{mg/L}) = F \times \left[\frac{V_i}{V_0} (T_0 - T_5) - \frac{V_i}{V_0} (B_0 - B_5) \right]$$

B_0 (mg/L) représente la teneur en oxygène de l'eau de dilution au moment du remplissage des flacons; B_5 (mg/L) correspond à la teneur en oxygène de l'eau de dilution après cinq jours d'incubation; T_0 (mg/L) est la teneur en oxygène de l'une des dilutions de l'échantillon au moment du remplissage des flacons; T_5 (mg/L) représente la teneur en oxygène de cette dilution de l'échantillon après cinq jours d'incubation; F est le facteur de dilution.

L'analyse chimique des chlorures a été réalisée par titrage avec du nitrate d'argent, selon la méthode volumétrique de Mohr conformément à la norme ISO 9297:1989 (Jean, Bernard, Nicole, & Coll, 2009). La salinité en chlorure de sodium (NaCl) a été déterminée en titrant l'ion chlorure contenu dans l'échantillon avec l'ion argent contenu initialement dans une solution de nitrate d'argent à une concentration de $[\text{AgNO}_3] = 2090 \text{ mg/L}$, en présence de 10% de chromate de potassium.

Cela a permis de déterminer la chlorure de l'eau, ce qui a permis de calculer sa salinité selon la formule suivante :

$$[NaCl](mg/L) = \frac{V_{AgNO_3} \times [AgNO_3] \times M_{NaCl} \times 1000}{M_{AgNO_3} \times V_{ech}} \quad \text{et} \quad [Cl^-](mg/L) = [NaCl] \times \frac{35,5}{58,5}$$

V_{AgNO_3} [mL]: volume équivalent de la solution titrante d'AgNO₃; M_{NaCl} [g/mol]: masse molaire de NaCl ($M_{NaCl} = 58,5$ g/mol); V_{ech} [mL]: volume de l'échantillon d'eau.

Analyses bactériologiques

Les analyses bactériologiques, comprenant les coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux (SF), ont été réalisées en filtrant 100 mL d'échantillon à travers une membrane de 45 µm de porosité, conformément aux normes ISO 9308-1 :2000 et 7899-2 :2000. Les filtres ont ensuite été déposés sur des boîtes de Pétri stériles contenant un milieu de culture spécifique à chaque groupe de microorganismes. Les coliformes totaux ont été analysés en utilisant le milieu de culture Slanetz and Barthy, tandis que pour les streptocoques fécaux, le milieu de culture utilisé était la gélose lactosée au TTC. Les boîtes de Pétri ont été placées dans une étuve thermostatée pendant 24 heures à une température de 37°C. Des essais de filtration ont été réalisés, à la fois avec et sans dilution (une dilution de facteur 1/10 a été effectuée). Le dénombrement des colonies bactériennes a été effectué conformément aux procédures décrites dans le tableau 1.

Tableau 1. Méthode de dénombrement des colonies de bactéries

	Coliformes totaux	Streptocoques fécaux
Colonies caractéristiques	Colonies caractéristiques de coloration jaune à orangée	Colonies violette, rouge, marron ou rose
Expression des résultats	$N = \frac{Nb \text{ colonies à oxydase} -}{d}$ d : facteur de dilution N : nombre de coliformes totaux/100ml	$N = \frac{Nb \text{ colonies à catalase} -}{d}$ N : nombre de streptocoques du groupe D/100ml

Nb : Nombre

Traitement statistique

Préalablement à l'analyse statistique, les résultats obtenus ont été soumis à une comparaison des moyennes à l'aide du test de Newman-Keuls. Une valeur de $p < 0,05$ a été choisie comme seuil de signification. Par la suite, les valeurs des paramètres physico-chimiques et bactériologiques ont été soumises à une analyse statistique descriptive, incluant la moyenne, le minimum et le maximum, afin de fournir une vue d'ensemble approfondie de la distribution des données. Ces procédures statistiques ont été employées pour déterminer toute variation significative entre les échantillons, contribuant ainsi à une compréhension approfondie des caractéristiques de l'eau étudiée.

Une analyse en composantes principales a été réalisée sur une matrice de données, comprenant les valeurs moyennes des différents paramètres

physico-chimiques et bactériologiques collectées aux stations d'échantillonnage (SP01, SP02 et SP03) (Kouassi Ernest et al ; 2011). Cette démarche visait à évaluer la qualité de l'eau aux différents points d'échantillonnage le long de la rivière.

Ensuite, une analyse factorielle des correspondances simples a été effectuée sur l'ensemble des paramètres physico-chimiques et microbiologiques, dans le but de caractériser principalement les risques environnementaux et sanitaires associés à ces paramètres. La relation entre la qualité de l'eau et la concentration en microorganismes au niveau des stations ont été également examinés en utilisant la carte factorielle. Pour mener à bien ces analyses, nous avons utilisé le logiciel SPSS (Statistical Package for Social Sciences) version 23.

Resultats

Une série d'analyses de laboratoire a été réalisée sur l'ensemble des échantillons d'eau pour chaque échantillon pour évaluer leur qualité, les risques sanitaires et environnementaux dans la zone de prélèvement le long de la rivière Matsiatra à Ankijana, dans la commune d'Ialanandiro.

➤ **Caractéristique physico-chimique et bactériologique des eaux**

Les résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques menées sur chaque site de prélèvement sont récapitulés dans le Tableau 2. Les résultats globaux de ces analyses sont, quant à eux, présentés dans le Tableau 3. Ces résultats ont été analysés par l'analyse de la variance par la méthode de Newman-Keuls afin de comprendre la différence significative des valeurs pour chaque site d'étude.

Ces analyses ont montré que la température moyenne enregistrée sur les sites d'étude est de $24,74 \pm 0,78^\circ\text{C}$, avec une plage allant de $22,5^\circ\text{C}$ à 26°C . Plus précisément, les températures moyennes aux sites SP01, SP02 et SP03 sont respectivement de $24,91 \pm 1,33^\circ\text{C}$, $24,67 \pm 0,61^\circ\text{C}$ et $24,69 \pm 0,38^\circ\text{C}$, conformément aux normes établies par l'OMS (inférieur à 25°C). L'analyse de la variance montre que cette variation est moins significative ($p > 0,05$).

Quant au pH de l'eau, il varie de 6,23 à 6,95, avec une moyenne de $6,56 \pm 0,22$. Les sites SP01, SP02 et SP03 affichent des valeurs moyennes de pH respectives de $6,44 \pm 0,19$, $6,58 \pm 0,21$ et $6,65 \pm 0,24$, comprise dans la plage de l'OMS ($6,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$). Ces données indiquent que les eaux de la rivière sont légèrement acides et montrent une différence significative avec $p < 0,05$.

La conductivité électrique a permis d'évaluer rapidement la minéralisation de la rivière Matsiatra à Ankijana. Les résultats montrent une valeur minimale de $20 \mu\text{S/cm}$, une valeur maximale de $30 \mu\text{S/cm}$ et une moyenne de $24 \pm 3,25 \mu\text{S/cm}$. Ces chiffres indiquent une faible minéralisation des sites d'étude, avec des valeurs moyennes respectives de $25,33 \pm 3,72 \mu\text{S/cm}$

pour SP01, $24 \pm 3,53 \mu\text{S}/\text{cm}$ pour SP02 et $22,86 \pm 2,27 \mu\text{S}/\text{cm}$ pour SP03 qui sont inférieurs à la limite de l'OMS ($300 \mu\text{S}/\text{cm}$) présentant une différence non significative après une analyse de la variance ($p > 0,05$). Cela suggère une carence en fer dans l'eau, comme l'indique l'analyse qualitative avec 2 mL d'échantillon en présence de 2 mL de soude NaOH, qui a donné des résultats négatifs pour chaque site. Concernant les Solides Dissous Totaux (TDS), ce paramètre mesure la quantité maximale de sels dissous dans l'eau. Les résultats d'analyse montrent une variation entre 10 ppm et 15 ppm, avec une moyenne de $12,65 \pm 1,5$ ppm. Les sites SP01, SP02 et SP03 affichent des valeurs moyennes de TDS respectives de $13 \pm 1,41$ ppm, $12,7 \pm 1,83$ ppm et $12,3 \pm 1,2$ ppm, indiquant des concentrations relativement faibles de sels dissous et montrant ainsi une variance non significative avec $p > 0,05$.

La turbidité de la rivière varie de 10 NTU à 95,5 NTU, avec une moyenne de $36,81 \pm 20,38$ NTU. Le site SP03 présente la turbidité la plus élevée par rapport aux sites SP01 et SP02, affichant une moyenne de $41,11 \pm 26,32$ NTU significative ($p < 0,05$), tandis que les deux autres sites présentent des valeurs de $35 \pm 23,2$ NTU pour SP01 et $34,86 \pm 15,3$ NTU pour SP02. Ces valeurs sont tous supérieures à la limite tolérée par l'OMS (5NTU). L'analyse qualitative par photométrie de flamme a révélé la présence d'ions sodium dans l'eau, indiquée par une légère coloration jaune orangé à l'œil. Cela suggère également la présence d'ions sodium (Na^+) en faible quantité dans la rivière. L'analyse chimique des chlorures a montré que la concentration de chlorure varie entre 56,64 mg/L (équivalent à 90,65 mg/L de NaCl) et 127,8 mg/L (équivalent à 194,26 mg/L de NaCl), avec une moyenne de $92,61 \pm 21,46$ mg/L de Cl^- (correspondant à $144,14 \pm 34$ mg/L de NaCl). Les teneurs moyennes en chlorure (ou NaCl) aux sites SP01, SP02 et SP03 sont respectivement de $110,76 \pm 12,05$ mg/L de Cl^- (ou $168,35 \pm 18,32$ mg/L de NaCl), $86,91 \pm 22,38$ mg/L de Cl^- (ou $139,86 \pm 38,64$ mg/L de NaCl) et $85,2 \pm 19,21$ mg/L de Cl^- (ou $129,5 \pm 29,12$ mg/L de NaCl) présentant également une différence significative selon l'analyse de la variance ($p < 0,05$).

En ce qui concerne les analyses bactériologiques, des bactéries de type coliformes totaux (CT) ont été détectées, avec une quantité moyenne de $134,17 \pm 254,15$ ufc/100mL, variant de 5 ufc/100mL à 1000 ufc/100mL. Les valeurs moyennes pour chaque site, ayant une différence significative ($p > 0,05$), sont de $440 \pm 361,94$ ufc/100mL pour SP01 qui a une teneur le plus élevé, $14 \pm 6,72$ ufc/100mL pour SP02 et $43 \pm 21,74$ ufc/100mL pour SP03. Et pour les streptocoques fécaux (SF), les taux moyens dans l'eau de rivière sont respectivement de 17 ± 9 ufc/100mL, $6 \pm 3,64$ UFC/100mL et $14 \pm 4,27$ ufc/100mL pour ces sites et présentent une différence significative ($p < 0,05$).

Tableau 2. Résultats statistiques des analyses physico-chimiques et bactériologiques pour chaque site de prélèvement

SITE S	PARAMETRE PHYSIQUES, CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES										
		pH	T(°C)	CE	TDS	Turb	Cl	NaCl	DBO5	SF (ufc/100mL)	CT
SPO1	Min	6,23	22,5	20	11	10,9	93,72	142,45	0,88	5	40
	Moy±σ	6,44±0,19	24,91±1,33	25,33±3,72	13±1,41	35,02±23,2	110,76±12,05	168,35±18,31	1,48±0,65	17±9	440±381,94
	Max	6,69	26	30	15	72,2	127,8	194,26	2,46	30	1000
SPO2	Min	6,23	23,6	20	10	10	59,64	90,65	0,56	2	5
	Moy±σ	6,58±0,21	24,67 ±0,61	24±3,53	12,7±1,8	34,86±15,3	86,91±22,38	139,86±38,64	1,15±0,72	6±3,64	14±6,72
	Max	6,77	25,7	30	15	63	127,8	194,26	2,46	14	28
SPO3	Min	6,36	24,22	20	11	12	63,9	97,13	0,25	9	10
	Moy±σ	6,65±0,24	24,69±0,38	22,86±2,27	12,3±1,2	41,11±26,32	85,2±19,21	129,5±29,12	0,85±0,44	14±4,27	44±21,74
	Max	6,95	25,2	26	14	14	110,76	168,36	1,36	20	70
Valeur limites (OMS)		6,5-8,9	25	3000	-	5	250	-	-	0	0

Tableau 3. Résultats statistiques des analyses physico-chimiques et bactériologiques

Paramètres	Moy±σ	OMS
T(°C)	24,74±0,78	25
pH	6,56±0,22	6,5-8,9
CE (μS/cm)	24±3,25	3000
TDS (ppm)	12,65±1,5	-
Tur (NTU)	36,81±20,38	5
Cl (mg/L)	92,61±21,46	250
NaCl (mg/L)	144,15±34	-
DBO (mg O2/L)	1,15±0,65	5
SF (ufc/100mL)	11,4±7,31	0
CT (ufc/100mL)	134,17±254,15	0

➤ Contamination des eaux en Matière organique

La Demande Biochimique en Oxygène en cinq jours (DBO₅), présenté dans le tableau 2, varie de 0,250 mg/L d'O₂ à 2,456 mg/L d'O₂, avec une moyenne de 1,148 ±0,65 mg/L d'O₂. Les sites SP01, SP02 et SP03 affichent des moyennes de DBO respectives de 1,48 ±0,65 mg/L d'O₂, 1,15 ±0,72 mg/L d'O₂ et 0,85 ±0,44 mg/L d'O₂ présentant une différence significative avec $p < 0,05$. Selon la norme de qualité de la littérature de Jean Rodier (tableau 4), ces eaux sont classées comme très bonne (DBO₅ < 3).

Tableau 4. La qualité de DBO selon Jean Rodier (Rodier, 2009)

DBO ₅ < 3	Très bonne
3 < DBO ₅ < 5	Bonne
5 < DBO ₅ < 8	Moyenne
DBO ₅ > 8	Mauvaise, voire très mauvaise

➤ Caractéristiques spatiales des eaux

L'analyse en composante principale (ACP) a été réalisée sur les données des échantillons prélevés sur les sites SP01, SP02 et SP03. Les résultats de l'ACP sont présentés dans les tableaux 5, 6 et 7, ainsi que les figures 2 et 3. Le tableau 5 présente les valeurs propres et les variances exprimées pour chaque composante. La première composante, avec une variance de 53,573%, est la plus significative, suivie de près par la deuxième composante, avec une variance de 16,801%. Ces deux composantes renferment la majeure partie des informations recherchées et permettent de représenter de manière significative le nuage de points, car leur variance cumulée dépasse 70% (Kouassi Ernest, et al ; 2011).

Le tableau 6 et la figure 4 présentent la contribution des différentes variables aux deux premières composantes. Ces représentations montrent que la première composante F1 est principalement définie par les variables pH ($r = -0,914$), CE ($r = 0,941$), TDS ($r = 0,681$), Cl⁻ ($r = 0,843$), NaCl ($r = 0,943$) et DBO ($r = 0,934$), tandis que la deuxième composante est influencée par T° ($r = 0,618$), Tur ($r = 0,518$), SF ($r = -0,740$) et CT ($r = -0,605$). Les relations significatives entre les différents paramètres sont mises en évidence par la matrice de corrélation présentée dans le Tableau 7. Cette matrice révèle les corrélations entre les variables étudiées, notamment la forte corrélation entre la conductivité et TDS ($r = 0,730$), le chlorure ($r = 0,706$), le chlorure de sodium ($r = 0,869$) et la DBO ($r = 0,915$). D'autres corrélations significatives incluent TDS/NaCl ($r = 0,521$), TDS/DBO ($r = 0,612$), Cl⁻/NaCl ($r = 0,883$), Cl⁻/DBO ($r = 0,698$), NaCl/DBO ($r = 0,880$) et SF/CT ($r = 0,697$).

La projection des sites étudiés dans le plan factoriel des deux premières composantes principales F1 et F2 est illustrée dans la figure 3 et le tableau 6. L'analyse suggère que la diversité des caractéristiques de l'eau est observée aux sites SP01, SP02 et SP03. Ces trois sites sont corrélés négativement à l'axe F1 dans la moitié gauche, reflétant l'acidité de l'eau. Les sites SP01 et SP03

sont positivement corrélés avec le même axe dans le quart droit, indiquant une contamination chimique liée à des paramètres tels que CE, TDS, Cl⁻, NaCl et DBO5.

L'axe F2 présente une corrélation positive avec les sites SP01 et SP02 dans le quart droit, suggérant une eau légèrement trouble, tandis qu'il est négativement corrélé avec le site SP01 dans le quart gauche, signalant une contamination bactériologique en SF et CT.

Tableau 5. Valeurs propres pour les analyses en composante principale

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	5,357	53,573	53,573
2	1,680	16,801	70,375
3	1,007	10,072	80,447

Tableau 6. Contribution des variables étudiés sur des composantes factorielles

	Composantes factorielles	
	1	2
T(°C)		0,618
pH	-0,914	
CE (µS/cm)	0,941	
TDS (ppm)	0,681	
Tur (NTU)		0,518
Cl(mg/L)	0,843	
NaCl (mg/L)	0,943	
DBO (mg O2/L)	0,934	
SF (ufc/100mL)		-0,740
CT (ufc/100mL)		-0,605

Tableau 7. Matrice de corrélation ^a des paramètres physico-chimiques et microbiologiques

Corrélation	T°	pH	CE	TDS	Tur	Cl	NaCl	DBO	SF	CT
T	1,000									
pH	-0,308	1,000								
CE	0,287	-0,879	1,000							
TDS	0,312	-0,572	0,730	1,000						
Tur	0,175	-0,044	0,265	0,124	1,000					
Cl	0,335	-0,738	0,706	0,373	-0,111	1,000				
NaCl	0,396	-0,866	0,869	0,521	0,027	0,883	1,000			
DBO	0,338	-0,894	0,915	0,612	0,225	0,698	0,880	1,000		
SF	-0,204	-0,288	0,314	0,196	-0,126	0,426	0,389	0,320	1,000	
CT	-0,050	-0,417	0,432	0,275	-0,055	0,492	0,426	0,446	0,697	1,000

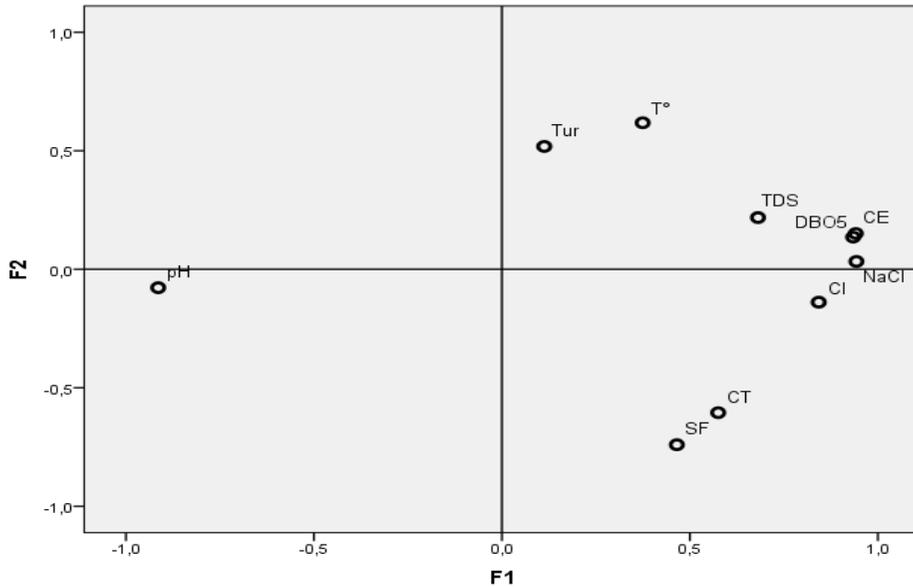


Figure 2. Contribution des variables sur les deux composantes principales choisies

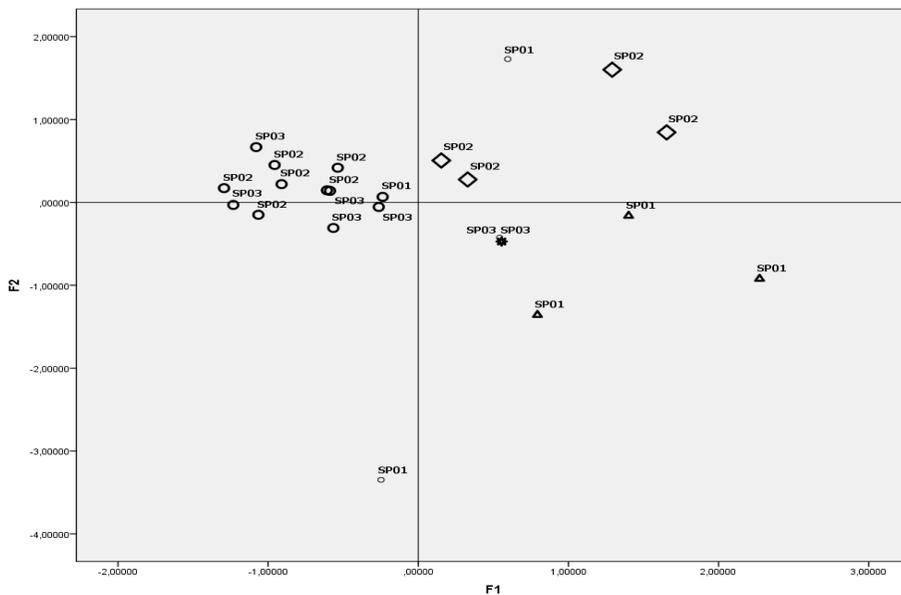


Figure 3. Projection des stations d'échantillonnage dans le plan d'axe factoriel

Discussion

L'objectif de cette étude de recherche est d'évaluer les risques environnementaux et sanitaires associés à la qualité de l'eau de la rivière Matsiatra à Ankijana, en se concentrant sur les trois sites d'étude spécifiques.

Pour ce faire, des analyses physico-chimiques, bactériologiques, et statistiques ont été menées pendant la saison des pluies.

La température, indicateur crucial des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques (Jaofara, 2022), révèle des moyennes conformes à la norme OMS ($T < 25^{\circ}\text{C}$) aux sites SP01 ($24,91 \pm 1,33^{\circ}\text{C}$), SP02 ($24,67 \pm 0,61^{\circ}\text{C}$) et SP03 ($24,69 \pm 0,38^{\circ}\text{C}$), bien que certaines dépassent, atteignant 26°C . En corrélation avec Kouassi Ernest et al (2011) et l'étude de Roddier (2009), ces résultats favorisent au développement de la faune, la flore, mais posent des risques pour la santé (Merhabi et al., 2019).

Le pH, indicateur de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau (Orelien, 2016-2017), révèle pour la rivière Matsiatra une tendance acide, variant de 6,23 à 6,95, avec une moyenne de $6,65 \pm 0,22$, conforme aux normes de l'OMS (6,5 à 8,5). Cette concordance est observée chez Merhabi (2009) (pH varie de 6,35 et 7,39) et Zirirane (2017) (pH varie de 6,7 et 7,4) pendant la saison des pluies. Les eaux de la rivière présentent une légère acidité attribuable à des acides minéraux ou organiques. Cela peut résulter de réactions complexes, telles que la formation d'eau, qui abaisse le pH en impliquant les ions hydrogène des polluants et les ions hydroxydes présents dans l'eau de la rivière (Phu Duc, et al., 2018). En outre, des réactions d'oxydation entre les composés sulfurés générant de l'acide sulfurique peuvent également être la source à cette acidité. Ces sources d'acidité peuvent être liées aux rejets d'eaux résiduelles, à l'agriculture intensive et aux natures géologiques du sol qui pourraient avoir des implications sur la vie aquatique et la qualité globale de l'écosystème (Ali, Abdelkader, & Habib, 2012).

La conductivité électrique, liée aux TDS, reflète l'abondance ionique dans l'eau. Les valeurs de conductivité et de TDS, entre $20 \mu\text{S}/\text{cm}$ et $30 \mu\text{S}/\text{cm}$, et 10 ppm et 15 ppm respectivement, se situent dans les normes OMS et malgaches, corroborant le rapport de Rajonson et al (1992) et l'étude de Yvonbert Pambou et al (2020). Cela indique une faible présence d'éléments chimiques dissous dans l'eau de rivière. La saison des pluies peut diluer les ions présents, expliquant la négativité des tests pour les ions Fe^{2+} et Fe^{3+} . La station SP01, la plus acide, présente une forte minéralisation, suggérant des effluents agricoles ou industriels, induisant une pollution. Les valeurs exceptionnellement basses signalent une pollution minimale liée à la saison des pluies, affectant la disponibilité des nutriments essentiels pour les plantes aquatiques et les organismes.

Les faibles valeurs de chlorures et de chlorures de sodium, variant respectivement de 56,64 mg/L à 127,8 mg/L et de 90,65 mg/L à 194,26 mg/L, demeurent en dessous des limites OMS (250 mg/L pour Cl⁻ et 380 mg/L pour NaCl). Ces résultats, en cohérence avec les études de Yvonbert Pambou (2020) et Lakhili Ferdaous et al (2015), démontrent une similarité dans les plages de valeurs (60 à 150 mg/L et 35,5 mg/L à 284 mg/L respectivement).

Les valeurs maximales observées à SP02 et SP01 indiquent un indice de pollution potentiel, attribuable aux précipitations et aux activités humaines telles que les rejets industriels et les eaux usées domestiques. Ces niveaux de chlorures et chlorures de sodium peuvent affecter négativement les écosystèmes aquatiques, perturbant les chaînes alimentaires et sensibilisant certaines espèces, notamment les poissons (Mariann & Joanna, 2018). Les environnements riches en chlorure sont mal tolérés par certaines espèces. Pour la santé humaine, une consommation excessive de sodium présente des risques, notamment pour les personnes souffrant de problèmes cardiaques ou d'hypertension artérielle, contribuant potentiellement à une augmentation de la pression artérielle (OMS, 2005).

La turbidité, indicateur de la concentration de particules en suspension comme l'argile, le limon, le grain de silice, les matières organiques et les bactéries, se manifeste avec des moyennes de $35,02 \pm 23,2$ NTU à SP01, $34,86 \pm 15,27$ NTU à SP02 et $41,11 \pm 26,31$ NTU à SP03, toutes dépassant les limites de qualité de l'OMS. Ces résultats se rapprochent de ceux obtenus dans l'étude de Joseph sur la rivière Lukunga à Kinshasa, où les valeurs moyennes varient entre $23,93 \pm 0,67$ NTU et $51,35 \pm 5,53$ NTU (Joseph, et al., 2023). Ces auteurs affirment que les eaux de rivière, riches en particules en suspension, présentent des risques potentiels en raison de la turbidité élevée, notamment pour la consommation humaine et les activités récréatives, créant des environnements favorables à la croissance de microorganismes pathogènes (Lakhili, et al., 2015). Ces particules peuvent également absorber des substances chimiques toxiques, mettant en danger la santé. L'abondance de matières en suspension peut avoir des répercussions environnementales en transportant des sédiments (Phu Duc, et al., 2018), entraînant la sédimentation des particules et altérant la qualité de l'habitat aquatique, potentiellement réduisant la quantité d'oxygène dissous et affectant la photosynthèse des plantes aquatiques.

Les niveaux de DBO indiquent une excellente qualité de l'eau pour les sites SP01, SP02 et SP03, avec des moyennes respectives de $1,48 \pm 0,65$ mg/l d'O₂, $1,15 \pm 0,72$ mg/l d'O₂ et $0,85 \pm 0,44$ mg/l d'O₂. Malgré une faible quantité de matières polluantes biodégradables ou non biodégradables pendant la période pluvieuse, les résultats correspondent à des recherches antérieures, comme celle de Dieudonné sur les rivières Kahuwa (ZIRIRANE, et al., 2014) et Mpungwe, et d'Abahi et al (2023) sur la rivière Klou au Bénin et celui de Victor Désiré qui montre que le station 1 situé en amont de la rivière Nkam au Cameroun a un DBO moyenne de 2,02mg/l d'O₂ et le station 3 se trouvant en aval à un DBO de 2,27mg/l d'O₂ (Victor Désiré, et al., 2017). Cependant, la détection de coliformes totaux et de streptocoques fécaux suggère une possible contamination par des composés organiques d'origine naturelle ou anthropique, provenant des eaux usées domestiques ou industrielles. Cela

souligne le risque potentiel pour la santé humaine et les écosystèmes aquatiques, avec une diminution de la quantité d'oxygène disponible, favorisant la condition d'eutrophisation et présentant des dangers potentiels pour la toxicité des espèces aquatiques (Phu Duc, et al., 2018).

Concernant les paramètres bactériologiques, les niveaux de coliformes totaux (CT) et de streptocoques fécaux (SF) sont utilisés comme indicateurs de contamination fécale (Collins et al., 2004). L'analyse de cette étude révèle une variation significative des concentrations en CT, allant de 40 ufc/100ml (SP02) à 440 ufc/100ml (SP01), tandis que les concentrations en SF varient entre 6 ufc/100ml (SP02) et 17 ufc/100ml (SP01). Ces valeurs dépassent les normes de potabilité établies par l'OMS et se situent en dessous de celles trouvées par Merhabi et al dans son étude sur la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha, où elles oscillent entre 25×10^2 ufc/100ml et 20×10^3 ufc/100ml (Merhabi et al., 2019) pour les CT, et par Ahoussi et al dans son étude des caractéristiques hydrogéochimiques et microbiologiques des ressources en eau (SF = 1700 ufc/100ml) pour les SF. Ces auteurs ont affirmé que la présence de ces indicateurs suggère la possibilité de la présence de germes pathogènes dangereux dans l'eau due à une contamination fécale, représentant ainsi des risques modérés pour la santé humaine, avec une augmentation du risque de maladies gastro-intestinales et cutanées (OMS, 2005). De plus, ce niveau élevé de coliformes totaux et de streptocoques fécaux contribuerait à la pollution de l'environnement aquatique, perturbant l'équilibre biologique des écosystèmes aquatiques en modifiant la composition bactérienne et en favorisant la croissance d'algues et d'autres microorganismes nuisibles (Collins et al., 2004). Ces microorganismes pourraient avoir des conséquences écologiques, mais aussi sanitaires, en altérant la qualité de l'eau destinée à la consommation et aux activités récréatives, soulignant l'importance de surveiller et de réguler la qualité microbiologique des ressources en eau (Hartemann, 2013).

L'analyse en composante principale a montré que les stations SP01 et SP03 des eaux de rivière Matsiatra ont été soumises à une pollution chimique, due aux activités anthropiques, lié aux paramètres détectés tels que le pH, la température T°, la conductivité CE, le TDS, le chlorure, le chlorure de sodium et le DBO5 selon la composante factorielle F1. Cela est expliqué par les corrélations entre ces paramètres tels que CE avec TDS ($r = 0,730$), Cl⁻ ($r = 0,706$), NaCl ($r = 0,869$) et la DBO ($r = 0,915$), TDS/NaCl ($r = 0,521$), TDS/DBO ($r = 0,612$), Cl⁻/NaCl ($r = 0,883$), Cl⁻/DBO ($r = 0,698$), NaCl/DBO ($r = 0,880$). Autrement, les milieux plus acide (pH < 7) sont conducteurs en sels minéraux et contiennent beaucoup de matières organiques. Les stations SP01 qui est fortement trouble suivie de SP02, lié à la composante F2 ont subi une pollution bactériologique liée aux germes de contamination (SF et CT) et au paramètre turbidité Turb puisque ces milieux contiennent des milieux

propices à la croissance des bactéries. Les pollutions pourraient être d'origine naturelle ou anthropique, causé par le rejet domestique ou industrielle et aux lessivages des champs agricoles.

Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude ont révélé que les eaux de la rivière Matsiatra comportent des risques tant pour la santé humaine que pour la faune et la flore. Ils indiquent des variations significatives des paramètres physico-chimiques et microbiologiques, notamment un pH acide ce qui peut être dû à la présence de matières organiques en décomposition ou à l'acidification des sols, une température élevée ce qui peut favoriser la croissance des bactéries et autres micro-organismes, une conductivité élevée par rapport à la minéralisation de l'eau naturel de Madagascar, une turbidité dépassant les normes de l'OMS, des concentrations élevées de chlorures et de sodium, ainsi que des niveaux de DBO5 variables. Ces constatations soulignent la possibilité de pollutions organiques et microbiologiques d'origine naturelle ou humaine.

L'analyse en composantes principales (ACP) a permis d'illustrer les relations entre les différents paramètres. Elle a mis en évidence une corrélation entre la turbidité (SF) et la charge totale en coliformes thermotolérants (CT), ce qui suggère un risque accru de maladies hydriques dans les zones présentant des niveaux élevés de ces paramètres due à la défécation dans l'eau de rivière. De plus, les zones plus acides sont associées à des valeurs élevées de température, de conductivité, de TDS, de chlorures, de sodium et de DBO5, suggérant des risques chimiques potentiels due aux activités anthropiques : rejets domestiques et les lessivages agricoles.

En termes perspective, l'étude souligne l'importance d'envisager des études complémentaires sur le traitement de l'eau en relation avec sa qualité. Ces études pourraient aider à élaborer des stratégies de gestion de l'eau visant à réduire les risques pour la santé humaine et les écosystèmes.

Re,merciements

Les auteurs remercient le laboratoire de centre national de recherche sur l'environnement (CNRE) à Antananarivo et le laboratoire de chimie de la faculté de science de l'Université de Fianarantsoa.

Conflit d'intérêts : Les auteurs n'ont signalé aucun conflit d'intérêts.

Disponibilité des données : Toutes les données sont incluses dans le contenu de l'article.

Déclaration de financement : Les auteurs n'ont obtenu aucun financement pour cette recherche.

References:

1. Abahi, K. S., Akodogbo, H. H., Gouton, R. R., Adje, A. S., Gnohossou, P. M., & Piscart, C. (2023). Evaluation de l'Effet des Eaux Usées Industrielles sur la qualité de l'Eau de la Rivière Klou au Centre du Bénin. *European Scientific Journal, ESJ*, 148-163. doi:<https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n3p148>
2. Ali, B. M., Abdelkader, C., & Habib, R. E. (2012). Évaluation de la pollution physico-chimique des eaux de l'Oued Khoumane (Moulay Idriss Zerhoun, Maroc). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(6), 7096-7111. doi:<https://doi.org/10.4314/ijbcs.v6i6.44>
3. Bramard, M. (2022). *Les impacts de la pollution de l'eau*. Fonte: eaufrance: <https://www.eaufrance.fr/les-impacts-de-la-pollution-de-leau>
4. CGP. (2020). *chemistry for the Grade 9-1 Cours*. Edexcel's 9-1 International GCSE. doi:<https://www.cgpbook.co.uk/extras>
5. Dudgeon, D., Arthington, A., M.O.Gessner, Kawabata, Z.-I., Knowler, D., C.Lévêque, . . . M.L., & S. (2006). Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological reviews*, 163–182. doi:<https://doi.org/10.1017/S1464793105006950>
6. Edokpayi, J., J.O., O., & O.S., & D. (2017). Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: a casestudy of South Africa. *In Water Quality: IntechOpen*, 402–416. doi:<https://doi.org/10.5772/66561>
7. Hartemann, P. (2013). Eau de consommation, risque, santé. (C. I. Edition, Ed.) *Sciences Eaux & Territoires*, 14 à 21. Acesso em jiu de 2023, disponível em <https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2013-1-page-14.htm>
8. Jaofara, B. V. (2022). Analyses qualités des eaux de puits dans la commune urbaine de Bealanana, région Sofia, Madagascar. *American Journal of Innovative Research and Applied Science*, 14.
9. Jean, R., Bernard, L., Nicole, M., & Coll. (2009). *L'Analyse de l'eaux* (Vol. 09). Paris: Dunod .
10. Joseph, M. N., Kamb, J.-C. T., Mutambel'Hity, D. S., & Kipimbye, E. M. (2023). Détermination de la qualité physique et chimique et analyse des micropolluants des eaux de la rivière Lukunga à Kinshasa/ Rd Congo. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 243-252. doi:<http://dx.doi.org/10.52155/ijpsat.v36.2.4936>

11. Kouassi Ernest, A., Oga, Y. M., Koffi, Y. B., Kouassi, A. M., & Biemi, N. S. (2011). Caractérisation hydrogéochimique et microbiologique des ressources en eau du site d'un Centre d'Enfouissement Technique (CET) de Côte d'Ivoire : cas du CET de Kossihouen dans le District d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *International Formulae Group*, 2524-2542. doi:<http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.32>
12. Lakhili, F., Benabdelhadi Mohammed, P., & Boudarka Nouzha, D. (2015). Etude de la qualité physico-chimique et de la contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Beht (Maroc) . *European Scientific Journal*, 132-147.
13. Leigh, C., Burford, M., Robert, D., & Udy, J. (2010). Predicting the vulnerability of reservoirs to poor water quality and cyanobacterial blooms. *Water Research*, 4487-4496. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.06.016>
14. Mariann, L.-S., & Joanna, I. (2018). *Guide sur les polluants océaniques: menaces toxiques pour la santé humaine et la vie marine*. Suède: National Toxics Networ.
15. Merhabi, F., Amine, H., & Halwani, J. (Avril 2019). Evaluation de la qualité des eaux de surface de la rivière Kadicha. *Lebanese Science Journal*, 10-34. doi:<http://dx.doi.org/10.22453/LSJ-020.1.010-034>
16. Nawel Aouadi, F. M. H. (octobre 2018). Évaluation des risques de contamination des eaux de surface par les produits phytosanitaires : application à un bassin versant viticole (projet PhytoCOTE). *HAL open science*, 12.
17. OMS. (2005). *Combatre les maladies véhiculées par l'eau à la maison*. Genève: Suisse: Organisation Mondiale de la Santé.
18. Orelie, F. (2016-2017). *Etude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable (Anse-a-Veau)*. Communauté Française de Belgique: matheo. Accès en février 2023, disponible en <http://hdl.handle.net/2268.2/3245>
19. Pambou, Y.-b., Banaka, A. M., Legnouo, E. A., Goa, N. N., & Ngomanda, A. M. (02 de Septembre de 2020). Évaluation de la qualité des eaux de puits et de rivière, utilisées par certaines populations de la ville de Libreville au Gabon: Cas du quartier Nzenge-Ayong Dragages. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 148-165. Fonte: <https://www.issr-journals.org/xplore/ijisr/0050/002/IJSR-20-185-06.pdf>
20. Phu Duc, N., Babacar, T., Sophie, D., & Nomessi, K. (2018). Évaluation de l'impact de la pollution diffuse sur la qualité de l'eau en rivière avec données restreintes : cas d'application du bassin versant de la rivière Cau. *Revue des sciences de l'eau*, 31(3), 293-312. doi:<https://doi.org/10.7202/1054308ar>

21. Pierre Aubry, D. B.-A. (juin 2023). *Les maladies liées à l'eau*. Bordeaux (France): Institut de Médecine Tropicale, Université de Bordeaux. Acesso em 24 de juillet de 2023, disponível em <http://medecinetropicale.free.fr/cours/eau.pdf>
22. Rajonson, J., Rasolofonirina, N., Ratoveloson, J., & Ravaonindrina, N. (1992). Fonte: Institut de Recherche pour le Developpement (IRD): https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/carton01/40360.pdf
23. Sokegbe, O. Y., Djeri, B., Kogno, E., Kangnidossou, M., Mensah, R. T., Soncy, K., & Ameyapoh, Y. (2017). Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n°2 de Lomé-commune : cas du quartier d'Adakpamé. *International Journal of Biological Chemical Sciences*, 2341-2351. doi:<https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i5.31>
24. Taglioni, C. O. (2019). Ressource en eau et fabrique du risque sanitaire au prisme de l'analyse de la vulnérabilité dans la capitale malgache. *OpenEdition journals*. doi:<https://doi.org/10.4000/com.10528>
25. Victor Désiré, T., Saya, R. a., & Eyango, M. T. (2017). Impacts des caractéristiques physico-chimiques des eaux sur la distribution du phytoplancton et des macrophytes de la rivière Nkam (Cameroun). *International Formulae Group*, 19. doi:<http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v11i4.28>
26. Viland, M., Duchemin, A. M., Larivière, M., Zarrabi, P., & Chazelon, J. (2016). *Eau et santé: Guide pratique pour les interventions en milieu rural africain*. Afrique: pS-Eau. Acesso em Juin de 2023, disponível em https://www.pseau.org/outils/ouvrages/gret_mae_ps_eau_eau_et_sante_2001.pdf
27. Vissin, E. W., Aimade, H. S., Dougnon, L. D., Sohounou, M., Atiye, E. Y., & Atchade, G. A. (2016). Qualité de l'eau et maladies hydriques dans la commune de Toffo (Bénin, Afrique de l'ouest). *Journal of Applied Biosciences* 106:10300 –10308, 50. doi:<http://dx.doi.org/10.4314/jab.v106i1.10>
28. WHO. (2011). *Guidelines for Drinking Water (4th éd)*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
29. Zirirane, D., Bagalwa, J. J., Isumbisho, M., Mulengezi, M., Mukumba, I., Bora, M., . . . Kamangal, K. R. (2017). Évaluation comparée de la pollution des rivières Kahuwa et Mpungwe par l'utilisation des macroinvertébrés benthiques. *OpenEdition journal*, 22. doi:<https://doi.org/10.4000/vertigo.15365>