

Évaluation des Risques Environnementaux et Sanitaires Liés à la Qualité Physico-Chimique et Bactériologique de la rivière Matsiatra à Fianarantsoa, Madagascar

Andry Harinaina Rabearisoa

Université de Fianarantsoa,
Sciences et technologies, Fianarantsoa, Madagascar

Bertrand Manjolongo

Université de Fianarantsoa, Ecole Normale Supérieure, Madagascar

Ravo Victoire Nasolomampionona

Hajandrainy Rabearisoa

Bruno Razanamparany

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

Nasolo Sedravola Randimbiarison

Université de Fianarantsoa,
Sciences et technologies, Fianarantsoa, Madagascar

[Doi: 10.19044/esipreprint.10.2023.p178](https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2023.p178)

Approved: 09 October 2023
Posted: 12 October 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). *Évaluation des Risques Environnementaux et Sanitaires Liés à la Qualité Physico-Chimique et Bactériologique de la rivière Matsiatra à Fianarantsoa, Madagascar*. ESI Preprints.

<https://doi.org/10.19044/esipreprint.10.2023.p178>

Resume

L'eau est une source de vie mais aussi de maladies pour de nombreux pays en développement, en particulier Madagascar. Les sites d'étude à Ankijana se situent entre le pont au route RN4 et les sociétés BIONEX et QUIMPEX. L'objet principal de l'étude c'est d'évaluer les risques liés à la qualité des eaux de rivière. Pour cela, les analyses physico-chimiques (T° , pH, CE, TDS, Cl⁻, NaCl, Turb et DBO5) et microbiologiques (CT et SF), ainsi que des analyses en composante principale (ACP) sont faites sur 23 échantillons prélevés sur les sites SP01, SP02 et SP03. Les eaux étudiées sont acides, avec une valeur de pH moyenne de 6,56. La T° , CE, TDS, et

Turb ont des valeurs moyennes respectives de 24,74°C, 24µS/cm, 12,65ppm et 36,8NTU. La teneur en Cl⁻, NaCl et DBO5 présente des indicateurs de pollution chimique. Quant aux paramètres microbiologiques, CT et SF sont présent (ufc/100ml) dans la rivière ce qui signifie des contaminations fécales. Ces valeurs traduisent des pollutions d'origine naturel ou anthropique liés à la contamination chimique et microbiologique. Ainsi, la rivière présente des risques sur la santé (due à la consommation ou à l'activité récréative) et écosystème due aux rejets domestiques, industrielles ou au phénomène naturel.

Mot-clefs : Eaux de rivière, risques environnementaux et sanitaires, analyse statistique, contamination chimique et microbiologique

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

Andry Harinaina Rabearisoa

Université de Fianarantsoa,
Sciences et technologies, Fianarantsoa, Madagascar

Bertrand Manjolongo

Université de Fianarantsoa, Ecole Normale Supérieure, Madagascar

Ravo Victoire Nasolomampionona

Hajandrainy Rabearisoa

Bruno Razanamparany

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

Nasolo Sedravola Randimbiarison

Université de Fianarantsoa,
Sciences et technologies, Fianarantsoa, Madagascar

Abstract

Water is a source of life but also sources of diseases for many developing countries, particularly Madagascar. The study sites in Ankijana are located between the RN4 road bridge and the companies BIONEX and QUIMPEX. The main purpose of the study is to assess the risks associated with river water. For this, physicochemical analyzes (T°, pH, EC, TDS, Cl⁻, NaCl, Turb and BOD5) and microbiological analyzes (CT and SF), as well as principal component analyzes (PCA) are carried out on 23 samples. taken from sites SP01, SP02 and SP03. The waters studied are acidic, with an

average pH value of 6.56. The T°, EC, TDS, and Turb have respective average values of 24.74°C, 24µS/cm, 12.65ppm and 36.8NTU. The content of Cl-, NaCl and BOD5 presents indicators of chemical pollution. As for the microbiological parameters, CT and SF are present (ufc/100ml) in the river, which means fecal contamination. These values reflect pollution of natural or anthropogenic origin linked to chemical and microbiological contamination. Thus, the river presents risks to health (due to consumption or recreational activity) and to the environment (fauna and flora) due to domestic, industrial discharges or natural phenomena.

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

Introduction

L'eau est un constituant environnemental indispensable à la vie terrestre jouant un rôle majeur du point de vue biologique, ainsi elle est le centre de vie de l'homme, des animaux et des végétaux (VISSIN, et *al.*, 2016). L'accès à cette ressource, si elle est potable, est essentiel pour améliorer la qualité de vie sanitaire. Pourtant, la majorité de la population mondiale se contente de boire de l'eau de non potable puisque 884 millions de personnes (WHO, 2011) n'ont pas accès à des ressources améliorées dont la majorité est en Afrique. En 2020, seulement 74% de la population mondiale, soit 5,8 millions de personnes utilisaient un service d'eau potable (Professeur Pierre Aubry, 2023). Dans les continents Africain, Asiatique et Latino-Américaine, 57% des personnes en moyenne n'ont pas l'accès à l'eau potable. À Madagascar, seuls 33 % de la population d'Antananarivo ont accès à un service d'eau potable (Taglioni, 2019).

C'est la raison pour laquelle cette population utilise des eaux de rivière comme eaux de boissons et de baignade pendant l'activité récréative et sans traitement préalable pour les pays en voie de développement. L'enquête menée auprès des ménages, pour le cas de la commune Ialananindro, se situant à proximité de la rivière Matsiatra nous a permis d'identifier sur la consommation de cette ressource pendant la période de rupture d'eau de la JIRAMA et tout le jour, plusieurs personnes se baignent dans cette rivière. Ces ressources constituent les sources d'eaux douce mais polluées par l'environnement. L'exposition démographique, l'intensification agricole et l'évolution industrielle (Leigh, et *al.*, 2010) sont des principaux problèmes liés à la pollution de la rivière pour la majorité des pays en voies de développement (Abahi, et *al.*, 2023). En effet, la pollution des rivières est causée par la variation des substances rejetées directement ou indirectement dans l'eau ou dans le bassin versant : des éléments nutritifs, des matières organiques, des micropolluants et les microorganismes, les déchets

(ZIRIRANE, et *al.*, 2017) et les rejets physico-chimiques (Edokpayi, et *al.*, 2017). Les rivières peuvent être affectées par différentes formes de pollution, provenant des sources naturelles ou humaines (Bramard, 2022).

Ainsi, la dégradation de la qualité de l'eau affecte négativement la santé humaine et la biodiversité aquatique (Dudgeon, et *al.*, 2006). Les microbes provenant des rejets domestiques, ou des rejets industriels peuvent causer des maladies tels que le choléra, bilharziose, diarrhée, gastro-entérites (SOKEGBE, et *al.*, 2017) et les maladies dermatologiques et ophtalmologiques (Viland, Duchemin, Larivière, Zarrabi, & Chazelon, 2016). Pour chaque année, l'OMS (2005) estime qu'environ 1,8 millions de personnes meurent de maladies diarrhéiques et du choléra dont 90% sont des enfants de moins de cinq ans pour la plupart des pays en développement. À Madagascar, 22% des enfants meurent de cette même maladie diarrhéique soit près de 1000 décès des enfants de moins de cinq ans (Taglioni, 2020). Ainsi, la pollution chimique par chlorure de sodium due au rejet d'activité humaine ou à la précipitation atmosphérique pourrait généralement impliquer de l'hypertension artérielle en cas de haute dose (HARTEMANN, 2013). Particulièrement, les milieux aquatiques sont aussi impliqués dans la détérioration de la qualité de l'eau de rivière par la contamination chimique. L'équilibre écosystème pourrait être perturbé par le déversement des produits chimiques (Nawel Aouadi, 2018) provenant des eaux agricoles, des eaux usées qui seront source d'emprisonnement des espèces aquatiques. Ces rejets contenant les nutriments des microorganismes peuvent aussi entraîner la prolifération excessive des algues qui empêchent le passage des rayons lumineux diminuant le taux d'oxygène dissout dans l'eau, d'où l'asphyxions des organismes aquatiques.

L'objet principale de cette étude est d'évaluer les risques environnementaux et sanitaires lié à la qualité de l'eau de rivière Matsiatra de la zone étudiée. L'apport de données qualitatives en déterminant les caractères physico-chimiques et bactériologiques permet de démontrer les connaissances sur ces risques liés à l'eau

Materiel et methodes

Zone d'étude

La commune d'Ialananindro se trouve dans la région Haute Matsiatra du province Fianarantsoa à Madagascar entre 47,08 et 47,20 longitudes Est et -21,30 et -21,50 latitude Sud selon la figure 1. La rivière Matsiatra est une importante source d'eau d'irrigation des cultures et d'approvisionnement qui traverse cette commune et la ville de Fianarantsoa en suivant les cours sinueux. Celle-ci traverse le pont de la route nationale RN7 à côté des sociétés BIONEX et QUIMPEX dans le village d'Ankijana puis se coule vers l'Est en direction vers l'Océan Indien. Pour cela, les sites de

prélèvements (SP) ont été choisis entre cette pont et ces sociétés dans les coordonnées géographiques variant entre 47,155 et 47,157 longitudes Est et -21,429 et -21,432 latitude Sud. Ces sites sont SP01 qui a comme coordonnées E047°09'390'' et S21°25'610'', SP02 qui se situe sur E047°09'390'' et S21°25'610'', et SP03 se trouvant sur E047°09'451'' et S21°25'614''.

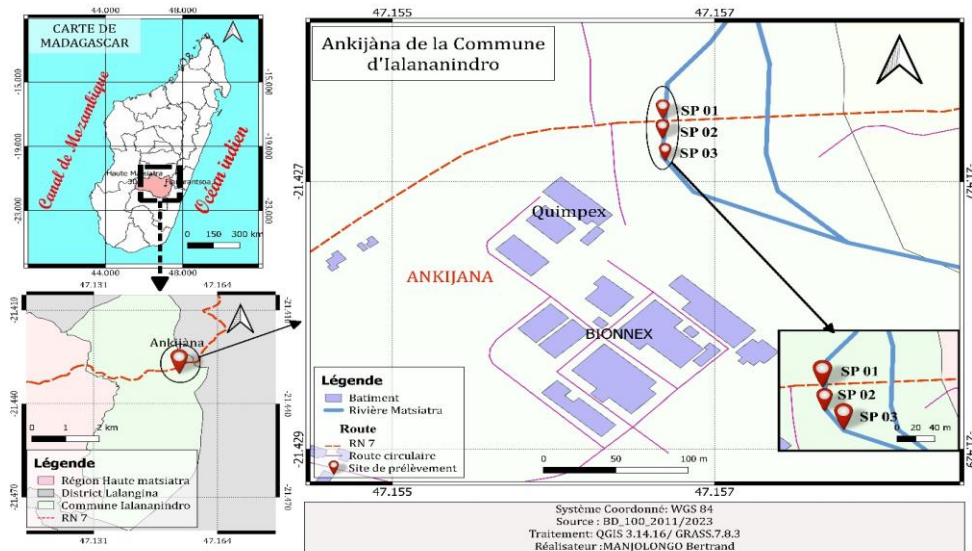


Figure 1. Présentation de la zone d'étude et les sites de prélèvements de l'eau de rivière

Un GPS Garmin Map 64 SC a été utilisé pour la prise de coordonnées géographiques des points d'échantillonnage

Échantillonnage

Vingt-trois prélèvements d'échantillons d'eau ont été effectués deux fois par jour pendant la saison de pluie du mois de mars et a durée de 5 jours. L'échantillonnage est basé sur trois sites comme illustre la figure 2. Les prélèvements destinés aux analyses physico-chimiques ont été réalisés dans des bouteilles plastiques polyéthylène de capacité 1L. Pour les prélèvements destinés aux analyses bactériologiques, des flacons de verre transparent de 500mL stérilisés ont été utilisés. Les techniques d'échantillonnage à gué pour une profondeur de 50cm (Jean RODIER, 2009) en dessous de la surface de la rivière ont été effectué. Les bouteilles ont été étiquetées, conservées dans une glacière contenant de la glace et transportées au laboratoire. Suivant le norme ISO 5667-3 (Juin 2004), les échantillons d'eau ont été conservés à 4°C avant leur analyse au laboratoire.

Analyses physico-chimiques

La mesure des paramètres physico-chimiques à savoir la température et le pH a été effectuée *in situ* entre 08h du matin et 15h pour l'après-midi sur chaque station d'étude. La température été mesurée à l'aide d'un thermomètre digital JR-1 tandis que le pH a été mesuré grâce au pH-mètre de type CE *range 0.00-14.00pH*. La mesure des autres paramètres comme conductivité, Total dissout Solid (TDS), turbidité, dosage des chlorures, DBO₅ (Demande Biochimique en Oxygène) ainsi que des analyses qualitatives tels que des tests des ions Fe²⁺ et Fe³⁺ et la photométrie de flamme ont été réalisées au laboratoire. La conductivité électrique et le TDS ont été effectués à l'aide d'un TDS&EC-mètre de type E-1. La turbidité a été déterminée grâce à un turbidimètre de type Palintest®. Les analyses qualitatives ont été réalisés comme tels ; test des ions Fe²⁺ et Fe³⁺ par la solution de soude NaOH et test de présence d'ion Na⁺ par la photométrie de flamme.

Le DBO₅ a été mesuré à l'aide d'un analyseur multi paramètre WTW 340i. La quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques biodégradables par voie biologique a été déterminée initialement avant l'incubation de 100mL et 150mL d'échantillons prélevés apportant l'ensemencement, puis à nouveau après un temps d'incubation de 5 jours à 20 °C dans une enceinte obscure. La différence de ces valeurs est considérée comme la demande biochimique ou biologique en oxygènes par la formule suivante :

$$DBO_5(\text{mg/L}) = F \times \left[\frac{V_i}{V_0} (T_5 - T_5) - \frac{V_i}{V_0} (B_0 - B_5) \right]$$

Bo (mg/L) : taux d'oxygène de l'eau de dilution au moment du remplissage des flacons ; B₅ (mg/L) : taux d'oxygène de l'eau de dilution au bout de cinq jours d'incubation ; T₀ (mg/L) : le teneur en oxygène de l'une des dilutions de l'échantillon au moment du remplissage des flacons. T₅ : le teneur en oxygène (mg/L), de cette dilution de l'échantillon au bout de cinq jours d'incubation et F le facteur de dilution.

L'analyse chimique en chlorure a été effectué par dosage en nitrate d'argent selon la méthode volumétrique de Mohr suivant la norme ISO 9297 :1989. La salinité en chlorure de sodium NaCl est déterminé par titrage de l'ion Chlorure contenu dans l'échantillon par l'ion Argent contenu initialement dans une solution de nitrate d'argent, à [AgNO₃] = 2090 mg/L, en présence de Chromate de potassium à 10%. Ce qui permet de déterminer la « chlorinité » de l'eau et donc, de calculer sa salinité par 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 microbiologiques, à savoir les coliformes totaux (CT) et streptocoques fécaux (SF), ont été effectuées par filtration de 100 mL sur une membrane de 45 µm de porosité selon la norme ISO 9308-1 : 2000 et 7899-2 :2000. Les filtres ont été déposés sur des boîtes de pétri stériles contenant un milieu de culture à chaque groupe de microorganismes. Les CT ont été analysés grâce au milieu *slanetz and Barthy medium* alors que pour les SF le milieu de culture Gélose lactosée au TTC. Les boîtes de pétri ont été placées dans l'étuve thermostatée pendant 24 heures à 37°C. Des filtrations ont été testées sans et avec dilution (dilution de facteur 1/10 a été réalisée). Le dénombrement des colonies a été effectué selon 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 N : Nombre de colonies typiques

Analyse en Composante principale (ACP)

Une analyse en composante principale a été effectuée sur une matrice de données, regroupant les valeurs moyennes des différents paramètres physico-chimiques et bactériologiques, pour les stations (SP01, SP02 et SP03), afin d'apprécier la qualité de l'eau au niveau des points échantillonnés autour de la rivière. Ensuite, une analyse factorielle des correspondances simples a été exécutée sur les paramètres physico-chimiques et microbiologiques de tous les points afin de décrire essentiellement les risques environnementaux et sanitaires liés à ces paramètres. Aussi, la relation entre la qualité de l'eau et le niveau de la concentration des stations en microorganismes a été examinée à travers une analyse en composante principale. Le logiciel SPSS (Statistical Package for Social Sciences) version 23 a été utilisé pour cette analyse.

Resultats

Les résultats statistiques des analyses physico-chimiques et bactériologiques pour chaque site de prélèvement de la rivière Matsiatra à Ankijana de la commune Ialananindro sont présentés dans le tableau 2 et le tableau 3 démontre les résultats généraux.

La température moyenne des sites d'étude est de 24,74°C, variant de 22,5°C et 26°C. Les températures moyennes des sites SP01, SP02 et SP03 sont respectivement 24,92°C, 24,67°C et 24,69°C. Le site SP01 a une température plus élevée par rapport aux autres. En ce qui concerne le pH des eaux, il varie de 6,23 à 6,95 avec une valeur moyenne de 6,56. Les sites SP01, SP02 et SP03 présentent des pH moyennes respectives de 6,44, 6,58 et 6,65. Ce qui permet de dire que les eaux de rivière sont acides. Le site SP01 a un pH faible (plus acide) en comparant avec les deux autres. La conductivité électrique a permis d'apprécier très rapidement la minéralisation de la rivière Matsiatra à Ankijana. Les données de l'analyse montrent une valeur minimum de 20 µS/cm, un maximum de 30 µS/cm ainsi qu'une valeur moyenne de 24 µS/cm. Ces valeurs expliquent la faible minéralisation des sites d'étude qui ont chacune de valeur moyenne de 25,33 µS/cm pour SP01, 24 µS/cm pour SP02 et 22,86 µS/cm pour SP03. Cela révèle que les eaux de rivière présentent une carence en fer selon l'analyse qualitative de 2mL d'échantillon avec 2mL de soude NaOH testé négativement pour chaque site. Concernant le TDS, ce paramètre mesure la quantité maximale des sels dissouts dans l'eau. Les résultats d'analyse illustrent une variation de 10ppm et 15ppm avec une valeur moyenne de 12,65ppm. Ceux-ci expliquent que les sites SP01, SP02 et SP03 ayant des valeurs moyennes respectives de 13ppm, 12,7ppm et 12,29ppm contiennent des sels dissouts à faible quantités. La turbidité de la rivière varie de 10NTU et 95,5NTU avec une valeur moyenne de 36,804NTU. Le site SPO3 est le plus turbide par rapport aux sites SP01 et SP02 car sa turbidité moyenne est de 41,114NTU et les deux autres sites ont des valeurs 35NTU pour SP01 et 34,86NTU pour SP02. Ainsi, la rivière présente fortement de particules en suspension (argile, limon, grains de silice, matière organique, bactéries et microalgues). L'analyse qualitative sur la photométrie de flamme montre la détection de d'ion sodium dans l'eau par la coloration jaune orangé peu visible à l'œil. Cela pourrait aussi dire que la rivière présente de l'ion de sodium Na⁺ en faible quantité. Cet ion pourrait interagir avec l'ion de chlorure Cl⁻ pour former la soude NaCl. L'analyse chimique en chlorure montre le niveau de chlorure varie de 56,64mg/L (soit 90,65mg/L de NaCl) et 127,8mg/L (194,26mg/L de NaCl), avec la valeur moyenne de 92,61mg/L de Cl⁻ (144,14mg/L de NaCl). Les teneurs moyennes en Cl⁻ (ou NaCl) des sites SP01, SP02 et SP03 sont respectivement de 110,76mg/L de Cl⁻ (ou 168,35mg/L de NaCl), 86,90mg/L de Cl⁻ (ou 139,86mg/L de NaCl) et

85,20mg/L de Cl^- (ou 129,50mg/L de NaCl). Quant au DBO, celui-ci varie de 0,250mg/L d' O_2 et 2,456mg/L d' O_2 , avec une valeur moyenne de 1,144mg/L d' O_2 . Les sites SP01, SP02 et SP03 ont respectivement de DBO moyenne de 1,48mg/L d' O_2 , 1,15mg/L d' O_2 et 0,85mg/L d' O_2 . La rivière est donc polluée puisque celle-ci présente une charge plus que la normale en matière organique. Les résultats d'analyse bactériologiques montrent la présence des bactéries de types coliformes totaux (CT) à quantité moyenne de 134ufc/100mL et variant de 5ufc/100mL et 1000ufc/100mL. Ses valeurs moyennes pour chaque site sont donc 440ufc/100mL pour SP01, 14ufc/100mL pour SP02 et 43ufc/100mL pour SP03. En ce qui concerne les streptocoques fécaux (SF), les taux moyennes pour ces sites dans l'eau de rivière sont respectivement de 17ufc/100mL, 6ufc/100mL et 14ufc/100mL. Cela pourrait signifier que les eaux des sites d'étude sont soumises à une contamination fécale ou bactérienne.

L'analyse en composante principale montre des résultats d'analyse présentés dans les tableaux 4, 5 et 6, ainsi que les figures 2 et 3. Dans le Tableau 4 sont consignés les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque composante. La composante 1, avec une variance exprimée de 53,573%, est le plus important de tous, ensuite viennent les composante 2 avec respectivement 16,801% de la variance exprimée. Ces deux composantes traduisent l'essentiel des informations recherchées et permettent de représenter de manière significative le nuage de points car la somme de la variance exprimée par ces composantes est supérieure à 70%. La figure 3 explique que dans la partie $\frac{1}{4}$ gauche et négative présente majoritairement les échantillons du site SP02, dans la partie $\frac{1}{4}$ droite et positive présente abondamment ceux du site SP01, et la partie $\frac{1}{4}$ gauche et positive présente à la fois les échantillons des trois sites. La contribution des différentes variables dans la définition des principales composantes est donnée par le Tableau 5 et la figure 4. Ces deux illustrations montrent que la composante 1, le plus important est défini par T° ($r= 0,112$), CE ($r= 0,185$), TDS ($r= 0,141$), Cl^- ($r= 0,147$), NaCl ($r= 0,177$) et DBO ($r= 0,183$) ainsi que la composante 2 se définit par T° ($r= -0,357$), TDS ($r= -0,114$), Tur ($r= -0,304$), Cl^- ($r= 0,100$) et SF ($r= 0,448$). Les liens significatifs qui existent entre les différents paramètres sont donnés par la matrice de corrélation (Tableau 6). Ces liens sont traduits par les différentes corrélations qui existent entre les variables étudiées. La conductivité est fortement corrélée avec TDS ($r = 0,730$), chlorure ($r = 0,706$), chlorure de sodium ($r = 0,869$) et DBO ($r = 0,915$). La corrélation est également observée sur les couples suivants : 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 ($r = 0,697$).

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

Sites	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type	Malagasy	
SP01 (N=6)	T(°C)	22,50	26,00	24,9167	1,33479	25
	pH	6,23	6,69	6,4383	0,19135	6,5-8,9
	CE (µS/cm)	20	30	25,33	3,724	3000
	TDS (ppm)	11	15	13,00	1,414	-
	Tur (NTU)	10,9	72,2	35,017	23,1994	5
	Cl (mg/L)	93,720	127,800	110,76000	12,049100	250
	NaCl (mg/L)	142,450	194,256	168,35447	18,315876	-
	DBO (mg O2/L)	0,883	2,456	1,48008	0,650001	5
	SF (ufc/100mL)	5	30	17	9,006	0
CT (ufc/100mL)	40	1000	440	361,939	0	
SP02 (N=10)	T(°C)	23,60	25,70	24,6700	0,60562	25
	pH	6,23	6,77	6,5780	0,21065	6,5-8,9
	CE (µS/cm)	20	30	24,00	3,528	3000
	TDS (ppm)	10	15	12,70	1,829	-
	Tur (NTU)	10,0	63,0	34,860	15,2969	5
	Cl (mg/L)	59,640	127,800	86,90400	22,380209	250
	NaCl (mg/L)	90,653	194,256	139,86432	38,634757	-
	DBO (mg O2/L)	0,556	2,456	1,15045	0,723743	5
	SF (ufc/100mL)	2	14	6	3,635	0
CT (ufc/100mL)	5	28	14	6,724	0	
SP03 (N=7)	T(°C)	24,22	25,20	24,6886	0,38068	25
	pH	6,36	6,95	6,6457	0,23273	6.5-8.9
	CE (µS/cm)	20	26	22,86	2,268	3000
	TDS (ppm)	11	14	12,29	1,113	-
	Tur (NTU)	12,0	95,5	41,114	26,3142	5
	Cl (mg/L)	63,900	110,760	85,20000	19,209404	250
	NaCl (mg/L)	97,128	168,355	129,50400	29,198294	-
	DBO (mg O2/L)	0,250	1,360	0,84665	0,435269	5
	SF (ufc/100mL)	9	20	14	4,271	0
CT (ufc/100mL)	10	70	44	21,740	0	

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

Paramètres	Moyenne	Ecart type ^a	Malagasy
T(°C)	24,7400	0,77851	25
pH	6,5622	0,21855	6,5-8,9
CE (µS/cm)	24,00	3,247	3000
TDS (ppm)	12,65	1,496	-
Tur (NTU)	36,804	20,3812	5
Cl (mg/L)	92,60870	21,462707	250
NaCl (mg/L)	144,14339	33,996486	-
DBO (mg O2/L)	1,14398	0,648795	5
SF (ufc/100mL)	11,39	7,310	0
CT (ufc/100mL)	134,17	254,153	0

Tableau 4. 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 5: Contribution des variables étudiés sur des composantes factorielles

	Composante	
	1	2
T(°C)	0,112	-0,357
pH	-0,175	0,026
CE (µS/cm)	0,185	-0,069
TDS (ppm)	0,141	-0,114
Tur (NTU)	0,057	0,304
Cl(mg/L)	0,147	0,100
NaCl (mg/L)	0,177	0,001
DBO (mg O2/L)	0,183	-0,060
SF (ufc/100mL)	0,035	0,448
CT (ufc/100mL)	0,065	0,370

Tableau 6. 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

a. Déterminant = 3,568E-5

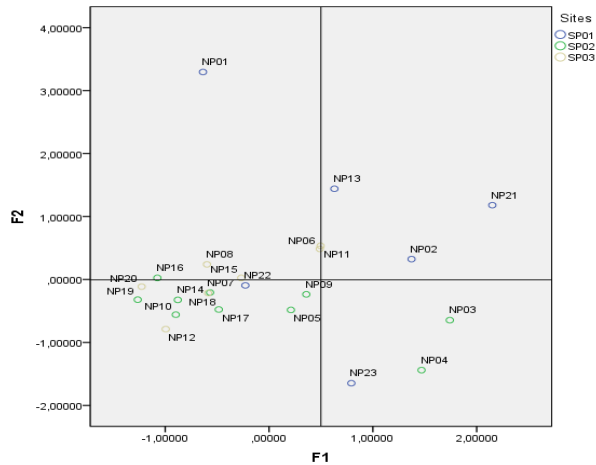


Figure 2. Projection des stations d'échantillonnage dans le plan d'axe factoriel

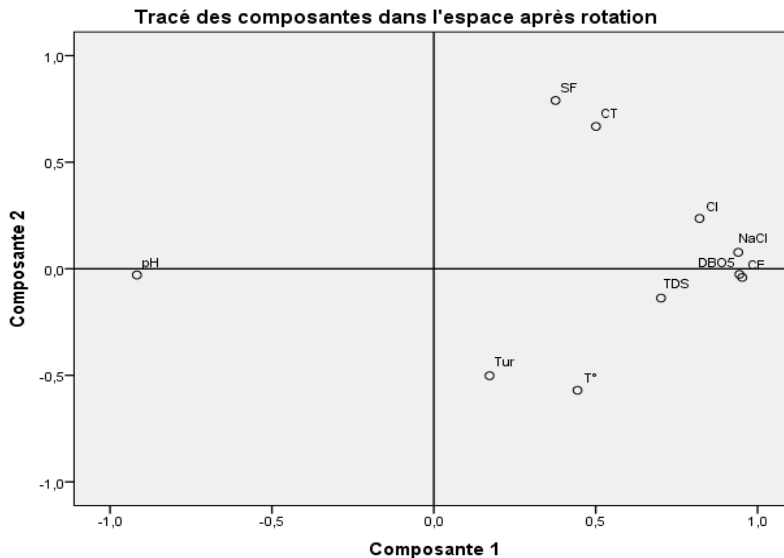


Figure 3. Contribution des variables sur les deux composantes principales choisies

Discussion

Ce travail de recherche a pour objectif d'évaluer les risques environnementaux et des risques sanitaires liés à la qualité des eaux de rivière Matsiatra à Ankijana dans les trois points d'étude effectués. Ainsi, les résultats physico-chimiques et bactériologiques ainsi que des analyses statistiques ont été constatés dans cet étude pour la période pluviale.

La température est un paramètre permettant une indication sur la modification des propriétés physiques, chimiques et biologiques (Jaofara, 2022). Selon le tableau 2, celle-ci suit la norme citée par l'OMS ($T < 25^{\circ}\text{C}$) pour les valeurs moyennes des sites d'étude : $24,92^{\circ}\text{C}$ pour SP01, $24,67^{\circ}\text{C}$

pour le SP02 et 24,69°C pour le site SP03. Elle dépasse cette norme pour la plupart des valeurs puisque le maximum de ces valeurs est de 26°C. Ces valeurs sont proches à celles obtenues par Kouassi Ernest (AHOUSSE, *et al.*). Les sites de prélèvement sont tous exposés de la lumière solaire ce qui pourrait influencer la température de l'eau. Les températures moyennes de chaque site sont toutes conformes à celle de la littérature de Roddier (2009). Cette variation est favorable pour le développement de la faune et flore ainsi que les microorganismes mais mauvaise (F. Merhabi, 2019) pour la santé humaine. Pour la période de pluie, l'augmentation de la température pourrait être due aux activités humaines intenses : agriculture, versement des eaux usées domestiques ou industrielles, pêche, activités récréatives, etc.

Le pH permet, quant à lui, de mesurer l'acidité ou l'alcalinité de l'eau, ce qui est dû à l'activité chimique des ions hydrogènes en solution (Orelien, 2016-2017). Pour cela, la rivière Matsiatra a une tendance acide puisque celui-ci varie de 6,23 à 6,95 avec un pH-moyen de 6,65. La valeur moyenne est conforme aux normes de l'OMS (pH comprise entre 6,5 à 8,5) et montre le même résultat par celui de Merhabi (2009) (pH varie de 6,35 et 7,39 pendant la saison pluviale) et Dieu Donné (pH varie de 6,7 et 7,4 durant la même période de pluie) (ZIRIRANE, *et al.*, 2014). Ceci montre que les eaux de rivière sont légèrement acides. Cette acidité pourrait être due à la présence des acides minéraux ou organiques dans la rivière, par divers facteurs tels que les émissions des eaux résiduaires, l'agriculture intensive (culture au bord de la rivière) ou aux caractéristiques sableuses des sols de cette rivière. Le site SP01 présentant un pH plus acide (pH comprise entre 5 à 6 pour la plupart des cas) pourrait représenter des dangers pour la santé. La consommation et l'exposition pendant la période récréative pourraient exposer respectivement à des risques toxicologiques et dermatologiques pour les personnes sensibles. Ainsi, ce site présente aussi des dangers néfastes sur les systèmes aquatiques car les organismes aquatiques tels que poissons, insectes aquatiques et les plantes aquatiques ont une référence spécifique de pH. Ces valeurs peuvent être en dehors de plage spécifique pour certaines espèces, ce qui entraîne des perturbations dans la population et la diversité de ces espèces.

Quant à la conductivité électrique, qui est étroitement liée à TDS, caractérise l'abondance des ions présents dans l'eau. Les valeurs de la conductivité et le TDS obtenues varient respectivement de 20 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 30 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et 10ppm et 15ppm. Ces valeurs suivent la norme de potabilité de l'OMS et de Malagasy selon le rapport de Rajonson (RAJONSON, *et al.*, 1992) et conformément à l'intervalle de l'étude de Yvon-bert Pambou (Pambou, *et al.*, 2020). Ceci indique que l'eau de rivière est pauvre en éléments chimiques dissous. La faible valeur peut être caractérisée par la saison de pluie car la concentration des ions présents dans l'eau pourrait être diluée par

l'eau de pluie et cela pourrait être la raison pour laquelle la présence des ions Fe^{2+} et Fe^{3+} est testée négativement. C'est la station SP01 le plus acide qui représente la forte minéralisation par rapport aux autres. Ainsi, les effluents agricoles ou industriels peuvent être présents dans la rivière ce qui rend l'eau polluée. Ces valeurs aussi extrêmement faibles indiqueraient une pollution minimale due à la saison de pluie mais aussi entraînant des problèmes de disponibilité des nutriments essentiels pour la croissance des plantes aquatiques et des organismes.

C'est aussi pour cela que des faibles valeurs en chlorures et en chlorures de sodium sont observées dans le résultat des tableaux 2 et 3. Ces paramètres fluctuent respectivement de 56,64mg/L et 127,8mg/L, et de 90,65mg/L et 194,26mg/L mais qui ne dépassent pas la limite 250mg/L pour Cl^- et 380mg/L pour NaCl de la norme de l'OMS. Ces résultats d'analyse démontrent la similarité avec celui de Yvon-bert Pambou (2020) dont ces valeurs varient de 60 à 150mg/l, et celui de Ferdaous dont ceux-ci augmentent de 35,5 mg/L à 284mg/L (Lakhili Ferdaous, et *al.*, 2015). Les valeurs maximales sont observées au niveau des stations SP02 puis de SP01. Leurs présences indiquent souvent un indice de pollution due à la précipitation atmosphérique et aux activités humaines tels que rejets industrielles, eaux usées domestiques puisqu'ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux. Ces niveaux de chlorures et chlorures de sodium dans l'eau peuvent avoir un impact négatif sur les écosystèmes aquatiques car certaines espèces aquatiques, en particulier les poissons pourrait être sensibles à ces teneurs en perturbant les chaînes alimentaires aquatiques. Certaines espèces aquatiques tolèrent mal les environnements riches en chlorure. Pour la santé humaine, les personnes souffrant de problèmes cardiaques ou d'hypertension artérielle feraient face à des risques problématiques en consommant excessivement le sodium car celui-ci pourrait contribuer à l'augmentation de la pression artérielle.

La turbidité traduit l'abondance des particules en suspension notamment les colloïdes tels qu'argile, limon, grain de silice, matières organiques, bactéries. Les sites SP01, SP02 et SP03 présentent des turbidités moyennes de 35,017NTU, 34,860NTU et 41,114NTU. Toutes les valeurs sont supérieures à celles mentionnées dans les limites de qualité de l'OMS. Ces résultats se rapprochent des valeurs obtenues par Joseph dans l'étude de la qualité de la rivière de Lukunga à Kinshasa/ Rd Congo dont les valeurs moyennes des sites étudiés sont comprises entre $23,93 \pm 0,67$ NTU et $51,35 \pm 5,53$ NTU (Joseph, et *al.*, 2023). En effet, les eaux de rivière comportent assez de particules en suspension. La rivière présente alors des risques potentiels liés à la turbidité élevée si elle est utilisée pour la consommation ou les activités récréatives car celle-ci fournit des milieux

propices à la croissance des microorganismes pathogènes. Les particules en suspension présent dans l'eau pourraient absorber des substances chimiques toxiques qui pourrait être dangereux pour la santé. L'abondance en matière en suspension peut aussi affecter à l'environnement. Ces matières transportent souvent des sédiments, ce qui entraîneraient la sédimentation des particules et ainsi altérer la qualité de l'habitat aquatique et pourrait réduire la quantité d'oxygène dissout dans l'eau en défavorisant la photosynthèse des plantes aquatiques.

Les valeurs de la DBO montrent que l'eau de rivière est classée comme très bonne pour les sites SP01, SP02 et SP03 de valeurs moyennes respectifs 1,48mg/l'd'O₂, 1,15mg/l'd'O₂ et 0,85mg/l'd'O₂. Pour une période pluvieuse, ces résultats semblent une indication de la présence des matières polluantes biodégradables ou non biodégradables dans la rivière même en faible quantité. Ceci est prouvé par la recherche de Dieudonné pour les rivières Kahuwa (DBO variant de 1,87±1,90mg/l'd'O₂ et de 2,60±2,52mg/l'd'O₂) et Mpungwe (DBO compris entre 1,46±1,84mg/l'd'O₂ et 4,84±3,26mg/l'd'O₂ (ZIRIRANE, et *al.*, 2014) et d'Abahi, pour la même période, en expliquant que la rivière Klou au Centre du Bénin a comme DBO₅ = 2,59 ± 0,2mg/l'd'O₂ pour le klou 1 et 2,55 ± 0,4mg/l'd'O₂ pour le klou 2, et prouve le contraire pour la période sèche (DBO > 5mg/l'd'O₂) (Abahi, et *al.*, 2023), 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). Cela dit que les eaux de rivière seraient faiblement polluées due à la dilution de la concentration des matières organiques biodégradables par l'eau de pluie pendant la période pluviale. Ainsi, cela pourrait impliquer la libération des composés organiques d'origine naturel ou anthropique tels que microorganismes pathogènes, nutriments (nitrate ou phosphate), des composés organiques volatils par les eaux usées domestiques ou industrielles ce qui pourrait être une diminution de la quantité d'oxygène pour les activités biologiques des espèces aquatiques et favoriser la condition d'eutrophisation. Par conséquent, les écosystèmes aquatiques présentent des dangers sur la toxicité de ces espèces. La présence des microorganismes pourrait influencer directement la santé humaine, d'où la détection des coliformes totaux et streptocoques fécaux.

Tableau 7. La qualité de DBO selon Jean Rodier (Jean, 2009)

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

Concernant les paramètres microbiologiques, les coliformes totaux (CT) et streptocoques fécaux (SF) sont utilisées comme indicateurs de

contamination fécale (Collins, et *al.*, 2004). L'analyse de cette étude a montré que la teneur moyenne en CT varie de 40ufc/100ml (SP02) et 440ufc/100ml (SP01) tandis que celle de SF est comprise entre 6ufc/100ml (SP02) et 17ufc/100ml (SP01) (voir le tableau 2). Ces valeurs dépassent la norme de potabilité établie par l'OMS et en dessous des valeurs trouvées par Merhabi dans l'étude de la qualité des eaux de surface de rivière Kadicha, dont, elles sont comprises entre 25×10^2 ufc/100ml et 20×10^3 ufc/100ml (Merhabi, et *al.*, 2019) pour les CT, et par AHOUSI dans l'étude des caractéristiques hydrogéochimique et microbiologique des ressources en eau (SF = 1700ufc/100ml) pour le SF. La présence de ces indicateurs démontre ainsi la possibilité que les germes pathogènes dangereux seraient présents dans l'eau due à la contamination fécale (homme ou animal). Cela représente donc des risques modérés pour la santé humaine car l'ingestion ou le contact direct avec l'eau augmenterait le risque de maladies gastro-intestinales telles que les diarrhées et les infections intestinales, ainsi que les maladies liées à la peau pour certaines bactéries d'origine fécale telles que les souches de streptocoques qui pourraient être impliqués dans certains infections cutanées. En outre, ce niveau élevé de coliformes totaux et streptocoques fécaux contribuerait à la pollution de l'environnement aquatique. Les coliformes totaux peuvent perturber l'équilibre biologique des écosystèmes aquatiques en modifiant la composition bactérienne et en favorisant la croissance d'algues et d'autres microorganismes nuisibles.

L'analyse en ACP montre que les eaux de rivière Matsiatra sont soumises à une pollution organique qui est liée à la décomposition des matières organiques influencées par les paramètres environnementaux tels que le pH, la température T°, la conductivité CE, le TDS, le chlorure, le sodium et le DBO5 selon la composante 1 (tableau 5 et figure 4). Les stations ayant un pH bas sont élevées en T°, CE, TDS, Cl⁻, NaCl, DBO et vis-versa. Autrement, les milieux plus acides (pH<7) sont conducteurs en sels minéraux et contiennent beaucoup de matières organiques. La composante 2 explique la pollution microbienne liée aux paramètres température, turbidité Turb, streptocoques fécaux SF, coliformes totaux CT. Les stations riches en SF et CT sont troubles. Celles-ci contiennent des milieux propices à la croissance des bactéries. Les pollutions pourraient être d'origine naturelle ou anthropique, causée par le rejet domestique ou industrielle et des précipitations atmosphériques.

Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail ont montré que les eaux de rivière Matsiatra présentent des risques sur la santé humaine et sur la faune et flore. Les analyses physico-chimiques ont relevé un pH acide qui varie de 6,23 et 6,95, une température fluctuant entre 22,5°C et 26°C, une CE

oscillant entre 20 μ S/cm et 30 μ S/cm, un TDS qui a pour minimum de 11ppm et un maximum de 30ppm, une turbidité qui dépassent la norme établie par l'OMS (>5NTU), des chlorures qui sont entre 59,64mg/l et 127mg/l, des sodiums variant de 90,65mg/l et 194,256mg/l, de test négatif de Fe²⁺ et Fe³⁺ et positif sur Na⁺, ainsi que le DBO5 qui change de 0,25mg/l d'O₂ et 2,46mg/l d'O₂. L'analyse en microbiologie a expliqué que le SF varie de 2ufc/100ml et 30ufc/100ml, et le CT fluctue de 5ufc/100ml et 1000ufc/100ml. Ces résultats ont permis de prédire que les eaux de rivière sont soumises à des pollutions organiques et microbiologiques d'origine naturel ou anthropique. En outre, l'analyse statistique sur ACP a illustré la corrélation existante entre les différents paramètres. Celui-ci a permis de mettre en œuvre que les stations troubles présentent SF et CT élevés, ce qui est risqué à des maladies hydriques, et les milieux plus acides ont des valeurs élevées en T°, CE, TDS, Cl⁻, NaCl et DBO5, ce qui pourrait être des dangers chimiques. En termes perspectives, cette étude pourrait être complète si elle était poursuivie par des études sur le traitement de l'eau lié à sa qualité.

Remerciements

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, January 31). 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. AHOUSSE, K. E., 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>
3. Bramard, M. (2022). *Les impacts de la pollution de l'eau*. Récupéré sur eaufrance: <https://www.eaufrance.fr/les-impacts-de-la-pollution-de-leau>
 4. Collins, R., & Rutherford, K. (2004). Modelling bacterial water quality in streams draining pastoral land. *Water Research*, 700-712. doi:<https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.045>
 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. F. Merhabi, H. A. (2019, Avril). EVALUATION DE LA QUALITE DES EAUX DE SURFACE DE LA RIVIERE KADICHA. *Lebanese Science Journal*, 10-34. doi:<http://dx.doi.org/10.22453/LSJ-020.1.010-034>
 8. HARTEMANN, P. (2013). Eau de consommation, risque, santé. *journal Sciences Eaux et Territoires*, 8.
 9. Jaofara, B. V. (2022). ANALYSES QUALITATIVES DES EAUX DE PUIITS DANS LA COMMUNE URBAINE DE BEALANANA, REGION SOFIA, MADAGASCAR. *American Journal of Innovative Research and Applied Science*, 14.
 10. Jean RODIER, B. L. (2009). *L'Analyse de l'eaux* (Vol. 09). Dunod Paris.
 11. Joseph, M. N., Kamb, J.-C. T., MUTAMBEL'HITY, D. S., & KIPIMBYE, E. M. (2023, January 02). Détermination De La Qualité Physique Et Chimique Et Analyse Des Micropolluants Des Eaux De La Rivière Lukunga AKinshasa/ Rd Congo. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 243-252. doi:<http://dx.doi.org/10.52155/ijpsat.v36.2.4936>
 12. Lakhili Ferdaous, D., Benabdelhadi Mohammed, P., & Bouderkha Nouzha, D. (2015, Avril). ETUDE DE LA QUALITE PHYSICOCHEMIE ET DE LA CONTAMINATION METALLIQUE 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. Nawel Aouadi, F. M.-H. (2018, octobre 09). 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.
15. 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. Consulté le février 2023, sur <http://hdl.handle.net/2268.2/3245>
16. Pambou, Y.-b., Banaka, A. M., Legnouo, E. A., Goa, N. N., & Ngomanda, A. M. (2020, Septembre 02). 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 Nzeng-Ayong Dragages. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 148-165. Récupéré sur <https://www.issr-journals.org/xplore/ijisr/0050/002/IJSR-20-185-06.pdf>
17. Professeur Pierre Aubry, D. B.-A. (2023, juin 16). *Les maladies liées à l'eau*. Bordeaux (France): Institut de Médecine Tropicale, Université de Bordeaux. Consulté le juillet 24, 2023, sur <http://medecinetropicale.free.fr/cours/eau.pdf>
18. RAJONSON, J., RASOLOFONIRINA, N., RATOAVELOSON, J., & RAVAONINDRIANA, N. (1992, 11). Récupéré sur Institut de Recherche pour le Développement (IRD): https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/carton01/40360.pdf
19. SOKEGBE, O. Y., DJERI, B., KOGNO, E., KANGNIDOSSOU, M., MENSAH, R. T., SONCY, K., & AMEYAPOH, Y. (2017, octobre). 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>
20. Taglioni, C. O. (2019, juillet 01). 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>
21. 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>
22. 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. Consulté le Juin 2023, sur https://www.pseau.org/outils/ouvrages/gret_mae_ps_eau_eau_et_sante_2001.pdf
23. 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>
24. WHO. (2011). *Guidelines for Drinking Water (4th édn)*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.
25. ZIRIRANE, D., BAGALWA, J. J., ISUMBISHO, M., MULENGEZI, M., I. MUKUMBA, M. B., MUCHESO, J., . . . KAMANGALA, F. K. (2014, Decembre). Évaluation comparée de la pollution des rivières Kahuwa et Mpungwe par l'utilisation des macroinvertébrés benthiques. *Vertigo- la revue électronique en science de l'environnement*. Récupéré sur <https://doi.org/10.4000/vertigo.15365>