

*Caractérisation De La Qualité De L'eau De La Rivière
Tsiandanitra De Fianarantsoa Madagascar : Cas Des Eaux
Traversant Andrainjato Nord*
[Characterization Of The Water Quality Of The Tsiandanitra
River Of Fianarantsoa Madagascar: Case Of Waters Crossing
North Andrainjato]

Andry Harinaina RABEARISOA^{1*}, Tolojanahary Sandra FIDIARILANTO², Bruno
RAZANAMPARANY³, Jean Claude Richard RAKOTOZAFY, Bertrand MANJOLONGO, Hajandraïny
RABEARISOA, Nasolo Sedravola RANDIMBIARISON

¹Université de Fianarantsoa, Sciences et Technologies
Ecole Normale Supérieure, Université de Fianarantsoa (BP:301), Madagascar
rabearisoa2@yahoo.com, sandratolojanahary2@gmail.com

³Université d'Antananarivo, Ingénierie en sciences et techniques de l'eau
Laboratoire de chimie de la faculté des sciences, Université d'Antananarivo
Antananarivo (BP:101), Madagascar.

*Correspondence: rabearisoa2@yahoo.com



Résumé — Cette étude propose une évaluation partielle de la qualité des eaux de la rivière Tsiandanitra traversant l'arrondissement Andrainjato Nord de la ville de Fianarantsoa située à Madagascar. Cette rivière est utilisée (à l'état brute) par la population riveraine à des fins multiples. Les échantillons ont été prélevés sur trois sites en saison pluvieuse, dont la température y a été mesurée in situ et le pH, la conductivité, le taux de solides dissous, la teneur en ions chlorures, la turbidité, la demande biochimique en oxygène, la teneur en coliformes totaux et streptocoques fécaux ont été analysés au laboratoire. Les résultats des analyses révèlent des niveaux de quatre paramètres (turbidité, demande biochimique en oxygène, coliformes totaux, streptocoques fécaux) excédant les seuils recommandés par l'Organisation Mondiale de la Santé et catégorise cette rivière dans la classe HC (hors classe) selon le décret Malagasy de classification qualitative des eaux de surfaces. Cette pollution pourrait découler du volume des rejets domestiques, de matières fécales ainsi que divers débris ménagers sur les rives. Elle pourrait être liée aussi aux activités anthropiques puis impactent directement la qualité de l'eau. Des corrélations entre les différents paramètres révélés par l'analyse statistique signalent également que les usagers sont exposés à une menace sanitaire et aussi que l'environnement aquatique est mis à risque.

Mots Clés — Pollution, Physico-Chimique, Rivière Tsiandanitra, Bactériologique, Eau De Surface, Haute Matsiatra.

Abstract—This study proposes a partial evaluation of the waters 'quality of the Tsiandanitra river crossing the precinct North Andrainjato in Fianarantsoa city of Madagascar. This river is used (to the state ruffian) by the riparian population to the multiple ends. Samples have been appropriated on three sites in rainy season, whose temperature has been measured in situ and the pH, the conductivity, the total dilute solid, the content in ions chlorides, the turbidity, the biochemical demand in oxygen, the content in total coliforms and fecal streptococci has been analyzed to the laboratory. Results of analyses reveal levels of four parameters (turbidity, biochemical demand in oxygen, total coliforms, fecal streptococci) exceeding doorsteps recommended by the World Health

Organization and categorize this river in the HC class (out class) according to the Malagasy decree of qualitative classification of the surface waters. This pollution could ensue of the domestic dismissal volume, of matters fecal as well as various domestic rubbishes on strands. It could also be bound to anthropic activities then influence directly the quality of water. Interrelationships between the different parameters revealed by the statistical analysis also signal those users are exposed to a sanitary threat and that the aquatic environment is vulnerable.

Keywords— Pollution, Physicochemical, Tsiandanitra River, Bacteriologic, Surface Water, Haute Matsiatra.

I. INTRODUCTION

Les eaux superficielles sont des ressources précieuses de la vie sur Terre. Elles sont mises à profit pour diverses fins. Les activités humaines constituent une menace majeure pour cette source en particulier [1]. Elles sont principalement sujettes aux pollutions, puisqu'elles se transforment en réceptacles de détritux divers et des eaux usées en provenance des agglomérations [2]. Ces eaux servent également de zone de commodité pour les passants. Etant aussi un accès pour l'abreuvement des animaux, ces créatures sont enclines à se baigner, à déféquer et à uriner dans ces milieux. C'est le cas de la rivière Tsiandanitra traversant l'arrondissement Andrainjato Nord. La population riveraine et les étrangers y passant ont l'habitude de se soulager sur les rives (surtout sous les ponts). Pourtant, ce cours d'eau est exploité par les habitants pour des usages domestiques, voire pour la consommation, sans qu'il soit soumis à un traitement. Or, le suivi régulier et contrôle systématique des eaux superficielles servies par la population, restent en marges des travaux sur la nature en ville. Il est envisageable que la consommation à l'état brut d'une eau de surface peut engendrer des maladies hydriques. L'eau qui est cruciale pour la vie peut également s'avérer être une source de maladie hydrique [3]. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) rapporte qu'un nombre annuel de 361 000 enfants âgés de moins de cinq ans succombent à des maladies diarrhéiques, résultant d'une insuffisance d'accès adéquat à l'eau potable ainsi qu'à des installations d'assainissement et d'hygiènes [4]. Ainsi, les maladies infectieuses ont tendance à se développer principalement après ingestion d'eau contaminée au moment de l'exercice d'activités en milieu aquatique ; ce qui entraîne souvent des gastroentérites, des otites externes, des conjonctivites et des dermatites qui sont respectivement des infections gastro-intestinales, des oreilles, des yeux et de la peau pouvant autant être contractées par contact avec l'eau polluée et il est possible même d'attraper des infections respiratoires par inhalation [5]. Il convient également de préciser que l'utilisation d'eau douce conduit systématiquement une pollution générée par les eaux usées, mettant ainsi en péril directement la qualité de l'eau, l'intégrité des écosystèmes aquatiques et même la santé humaine [6]. La santé et la survie des humains et des animaux sont alors toutes deux conditionnées par la qualité de l'eau. Dans les eaux douces, il existe de nombreux microorganismes d'origine animale ou anthropique qui peuvent altérer la qualité de l'eau et la rendre inappropriée pour les activités humaines. La majorité d'entre eux attribue une fonction indispensable dans les processus biogéochimiques des environnements aquatiques et certains ne sont pas impliqués dans ce mécanisme et se laisser simplement emporter par le flux de la rivière. Cependant, la plupart parmi eux sont inoffensifs ; ils attestent seulement d'une pollution des eaux par des déjections animales ou humaines [7]. La caractéristique de l'eau est alors menacée en cas de présence de bactéries dangereuses. Cette qualité se modifie au fil des saisons et diffère d'une région à l'autre, même si aucune pollution n'est présente [8]. Ainsi, l'objectif de la présente étude est d'évaluer d'une manière partielle la qualité physicochimique et bactériologique des eaux de la rivière Tsiandanitra traversant l'arrondissement Andrainjato Nord de la ville de Fianarantsoa en saison pluvieuse.

II. METHODOLOGIE

2.1. Milieu d'étude

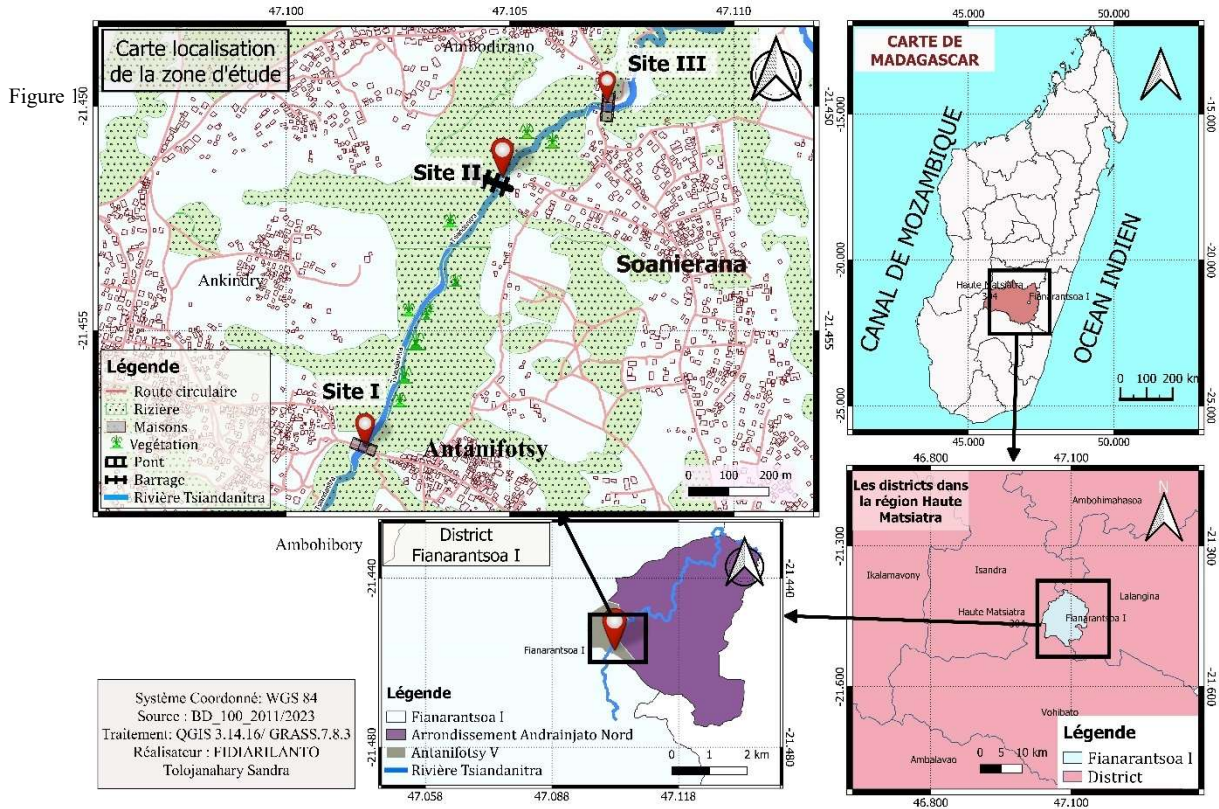
La rivière Tsiandanitra se situe dans la région Haute Matsiatra de Madagascar, à Fianarantsoa. Géographiquement, elle s'étale entre une latitude de 21°27'21'' Sud et à une longitude 47°6'9'' Est. Ce petit affluent prend sa source à la montagne d'Itongoa à Mahasoabe à 1450 mètres d'altitude et coule dans une large vallée dominant Fianarantsoa à l'Est. Il s'étend vers le Nord en direction de la rivière Matsiatra, puis chemine la ville et conflue à Ialananindro (1245 mètres d'altitude) qui se trouve à environ 5 kilomètres en amont du pont où la route nationale de Fianarantsoa à Tananarive [9].

Le climat de la région de Haute Matsiatra est de type tropical d'altitude, se distinguant par deux saisons clairement séparées [10]. La saison chaude et pluvieuse (allant de novembre en avril) au cours de laquelle 90 % des précipitations surviennent (1 000 à 1 200 mm/an) et la température peut culminer à environ 30 °C. La pluviométrie abondante est constatée en mois de décembre et

janvier et deviennent moins fréquentes à partir du mois d'avril. La saison fraîche et humide (de mai en octobre) est caractérisée par des précipitations légères en crachin et d'une température basse jusqu'à 6 °C.

2.2. Sites de prélèvement

Le prélèvement des échantillons d'eau a été réalisé sur trois sites. Les conditions de choix sont en fonction de la représentation des sources de pollution, de l'accessibilité du site et des activités anthropiques in situ.



Les sites de prélèvement choisis ont lieu dans l'arrondissement d'Andrainjato Nord, au sein du District de Fianarantsoa I situé dans la partie centre-Est urbaine de la région Haute Matsiatra de Madagascar (Fig.1). Ils sont localisés aux environs de 10km avant l'embouchure de la rivière Tsiandanitra. Le relief est moins vigoureux et la vallée mieux calibrée. Le site I se situe en aval de la rivière traversant Antanifotsy Andrainjato Nord. Le site II se localise au barrage de dérivation entre le site I et le site II en travers le cours d'eau vers le Nord. Le site III prend place en aval de la rivière traversant le pont de Soanierana Andrainjato Nord.

Les sites d'échantillonnages ont été géo-localisés à l'aide d'un GPS (Global Positionning System) de modèle GARMIN GPSmap 64sc. Dans le TABLEAU I. ci-dessous est décrit chaque site en termes de coordonnées géographiques et de pressions environnementales.

TABLEAU II. Coordonnées géographiques des sites

Sites	Coordonnées géographiques	Altitude	Environnement
SITE I	S 21°27.448' E 047°06.101'	1092 m	Rejets domestiques et fécaux, déchets ménagers massifs et zone agricole sur les rives
SITE II	S 21°27.117' E 047°06.280'	1097 m	Riziculture sur les rives, rejets directs d'excréments animaux

SITE III	S 21°27.002' E 047°06.406'	1092 m	Riziculture en conjonction directe à la rivière, quelques débris ménagers sur les rives
----------	-------------------------------	--------	---

La rivière Tsiandanitra traverse une localité habitée et des étendus de terrains cultivés. Le sol aux environs des sites est marécageux donc favorable essentiellement à la culture de riz et au fourrage. Ainsi, les eaux de cette rivière sont utilisées pour l'irrigation des rizières et des potagers. Les riverains exploitent également ce cours d'eau pour les activités ménagères telles que la lessive, le nettoyage ainsi que l'abreuvement des animaux domestiques et du bétail. Les usagers se servent de ces eaux aussi pour les besoins d'hygiène, la fabrication des briques et occasionnellement pour la consommation. Pendant la saison chaude, la population a recours à la rivière pour les loisirs tels que la baignade et la pêche.

2.3. Echantillonnages

La collecte des échantillons d'eau a été réalisée à un instant variable en mi-mars 2023, une période proche de la fin de la saison pluvieuse. Les conditions météorologiques durant cette campagne représentent une température fluctuante entre 15°C et 29°C au maximum, à précipitation faible caractérisée par des pluies et grêles moins denses.

Pour réaliser l'échantillonnage, des bouteilles neuves en matières plastiques de capacité un litre ont été utilisées. Une fois remplie, la bouteille fut illico bouchée, étiquetée, conservée. Afin de préserver l'intégrité des échantillons d'eau, ils furent ensuite transportés dans une glacière maintenue à une température égalant à 5°C plus ou moins 3°C à l'abri des rayons UV pour leur acheminement au laboratoire. Arrivé au laboratoire, les prélèvements d'eau ont été conservés dans un réfrigérateur réglé à une température allant de 3 à 5°C jusqu'au moment de l'analyse.

Le mode de prélèvement a été réalisé selon les méthodes décrites par la norme ISO 5667-3 et par [11]. La mise en œuvre conjointe de ces deux procédés consiste à prélever en plein eau dans le courant, assez loin de la rive ou des bords et des obstacles naturels ou artificiels, en dehors des zones mortes ou des remous et en évitant la mise en suspension des dépôts. La modalité de prélèvement comprend une étape de rinçage deux fois de la bouteille avec l'eau du site puis la remplir à tiers en l'introduisant à une certaine profondeur (50 cm).

2.4. Analyses physicochimiques et microbiologiques

La température a été mesurée in situ lors du prélèvement, juste avant de boucher la bouteille, par le biais d'un thermomètre de marque Digital thermometer JR-1. Les mesures de la conductivité électrique et du taux de solides dissous (TDS) dans l'eau ont été obtenus par l'usage d'un appareil portable multifonction de type TDS & EC meter. Les valeurs du pH ont été compensées par un pH-mètre de référence pH-S1. La turbidité a été déterminée au moyen d'un turbidimètre Palintest®. La composition en ions chlorures a été déterminée en réalisant l'argentimétrie suivant la méthode de Mohr selon le protocole dans [11]. L'analyse de la demande biochimique en oxygène (DBO5) s'est réalisée par la méthode de dilution suivant la norme NF T 90-103.

La caractérisation microbiologique a été menée sur les coliformes totaux et les streptocoques fécaux par filtration sur membrane. La recherche et le dénombrement des coliformes totaux se sont réalisés à l'aide d'une culture sur le milieu gélose lactosée au TTC et au Tergitol 7 puis incubation à 37°C selon la norme ISO 9308-1 ; 2000. La détection des streptocoques fécaux s'est effectuée suivant la norme ISO 7899 -2 ; 2000 en recourant au milieu de culture de Slanetz et Bartley.

2.5. Analyses statistiques

L'analyse en composantes principales a été la base de l'étude statistique des données. Un logiciel XLSTAT 2014 a été utilisé pour établir les matrices de corrélations intermédiaires, les coefficients de corrélations entre les variables et les deux premiers axes et la projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2.

III. RESULTATS

3.1. Caractéristiques physicochimiques des eaux

Les résultats illustrés sur le TABLEAU III montrent les variations des paramètres physicochimiques et bactériologiques des échantillons d'eaux de la rivière Tsiandanitra.

TABLEAU IV. Résultats physicochimiques et microbiologiques des eaux

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Norme OMS	Unités
Température	21,2	25,9	22,6	<25	°C
Ph	6,54	7,3	7,02	6,5<pH<8,5	-
Conductivité électrique	50	88	62,12	<250	µS/cm
Taux de Solides Dissous	25	43	31,09	<1000	ppm
Chlorure	21,3	51,12	32,84	<250	mg/L
Turbidité	22,5	98,9	62,77	<5	NTU
DBO5	5,82	9,43	7,74	-	mg d'O ₂ /L
Streptocoques Fécaux	45	80	59,87	0	UFC/100mL
Coliformes Totaux	43	92	68,06	0	UFC/100mL

La fluctuation de la température enregistrée ne dépasse en aucun cas 21,2°C et 25,9°C (Tab. V). Les valeurs minimales et maximales de pH de l'eau de la rivière d'étude traversant les sites choisis varient respectivement entre 6,5 et 7,3 avec une moyenne 7,02. Les eaux constituent une minéralisation faible avec une conductivité électrique qui oscille de 50 à 88 µS/cm pour une moyenne 62,12 µS/cm. Le taux minimum et maximum de solides dissous dans l'eau est compris entre 25 et 43 ppm. La concentration en ions chlorures des échantillons d'eaux a été notée de 21,3 à 51,12 mg/L, accompagnée d'une mesure moyenne 32,84 mg/L. Les eaux sur les sites étudiés présentent une turbidité variant de 22,5 à 98,9 NTU. Pour la DBO5, les valeurs obtenues s'élèvent à partir de 5,82 mg d'oxygène/L jusqu'à 9,43 mg/L. Les analyses bactériologiques démontrent que les eaux de la rivière Tsiandanitra sont caractérisées par des teneurs en Streptocoques Fécaux allant de 45 UFC/100mL à 80 UFC/100mL avec une moyenne de 59,87 UFC/100mL. La moyenne du teneur en Coliformes Totaux atteint 68,06 UFC/100mL dont les mesures varient entre 43 et 92 UFC/100mL.

3.2. Résultats statistiques

Cette étude statistique permet de différencier les eaux en fonction de leurs particularités physiques, chimiques et microbiologiques et de déterminer leurs variations dans l'ensemble (facteurs) suivant les axes principaux. Le traitement de l'analyse en composantes principales a été réalisé avec le coefficient de Pearson, sur 31 échantillons d'eaux prélevés. Les variables observées constituent la température (T), le pH, la conductivité électrique (CE), le taux de solides dissous (TDS), la teneur en ions chlorures (Cl), la turbidité, la DBO5, les streptocoques fécaux (SF) et les coliformes totaux (CT). Les données dans le TABLEAU VI détaillent les coefficients de corrélations entre les variables et les deux premiers axes factoriels.

TABLEAU VII. Corrélations entre les variables et les axes principaux

Paramètres	F1	F2
pH	0,0105	-0,3787
CE	0,7266	-0,5707
TDS	0,7375	-0,5504
Cl	0,0425	0,3310
T	0,0932	0,3099
Turbidité	-0,1222	0,7133

DBO5	0,3294	0,7825
SF	0,8151	0,3830
CT	0,8123	0,3679

Les résultats illustrés sur la figure qui suit (Fig.2) reflètent la projection des variables dans l'espace des deux premiers axes F1 et F2. Les variables qui sont les plus contributives se trouvent graphiquement à proximité du cercle. Celles ayant une faible contribution se trouvent proches du centre du graphique.

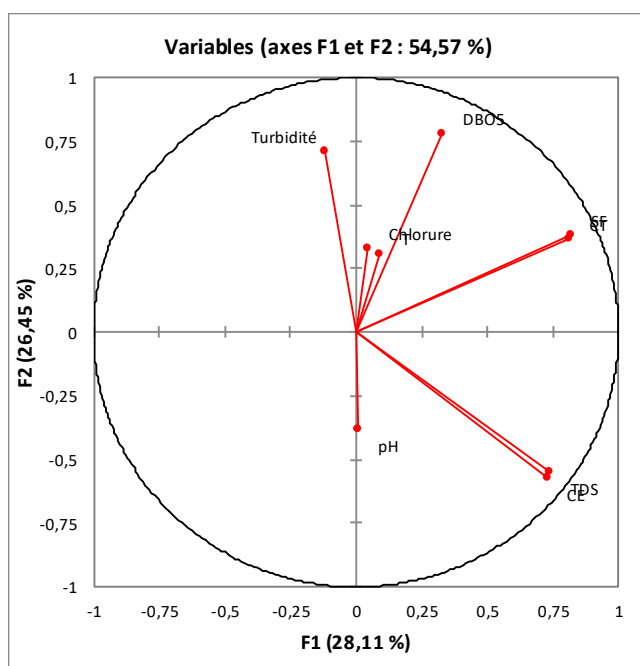


Figure 2. Cercle de corrélation et projection des variables dans l'espace des axes F1 et F2

Le cercle de corrélation (Fig. 2) montre que 54,57 % des informations prises en compte dans l'Analyse en Composantes Principales contribuent à la définition du plan factoriel F1 x F2. L'axe F1 affichant 28,11% de la variance, est structuré positivement par CE, TDS, CT et SF. L'axe F2 représentant une variance de 26,45% est constitué positivement par Turbidité, Chlorure, T, DBO5 et négativement par pH. Les deux variables TDS et CE sont graphiquement loin du centre et très proches l'une par rapport à l'autre, alors elles sont significativement positivement corrélées. Les variables SF et CT présentent la même situation que TDS et CE. Une forte corrélation s'observe également entre la Turbidité et DBO5 (Fig.2). Les variables pH, T et Chlorure sont relativement proche du centre du graphique (Fig. 2) et faiblement liées aux axes F1 et F2 (Fig. 2 et Tab. III). Ainsi, toute interprétation issue de la Fig. 2 sur ces paramètres est hasardeuse et il est essentiel de se référer à la matrice de corrélation dans TABLEAU VIII.

Les matrices de corrélations entre les neuf variables étudiées sont révélées par le tableau suivant.

TABLEAU IX. Matrices de corrélation inter élémentaires

Variables	pH	CE	TDS	Chlorure	T	Turbidité	DBO5	SF	CT
pH	1								
CE	0,129	1							
TDS	0,111	0,997	1						
Chlorure	-0,192	-0,088	-0,088	1					
T	0,040	-0,076	-0,061	0,129	1				
Turbidité	-0,157	-0,322	-0,310	0,011	0,166	1			
DBO5	-0,228	-0,105	-0,081	0,239	0,136	0,625	1		
SF	-0,082	0,233	0,248	0,111	0,107	0,030	0,434	1	
CT	-0,039	0,234	0,244	0,019	0,154	0,038	0,421	0,912	1

Les chiffres en gras indiquent les corrélations à un niveau significatif (Tab. X). De cette manière, une forte association considérable et positive est observée entre la conductivité électrique et le taux de solides dissous dans l'eau ($r=0,997$). Les streptocoques fécaux sont également très corrélés avec les coliformes totaux ($r=0,9122$). Une corrélation positive et faiblement significative est à noter aussi entre la turbidité et la DBO5 ($r=0,6251$). La DBO5 présentent aussi une importante liaison positive avec les streptocoques fécaux ($r=0,4345$) et les coliformes totaux ($r=0,4219$).

IV. DISCUSSION

Les paramètres physicochimiques bases de la présente étude ont collaboré pour l'observation de la qualité des eaux de la rivière Tsiandanitra, objet de cette étude. Ainsi, la température de l'eau contribue à sa caractérisation qualitative. Elle affecte les mécanismes biologiques des animaux et végétaux tels que les algues au sein de l'habitat aquatique [12]. Les résultats de température enregistrés (entre 21,2°C et 25,9°C) s'avèrent être supérieurs à ceux signalés par [13] en amont et en aval de la rivière de Bealanana au Nord-Ouest de Madagascar, où les valeurs minimale et maximale étaient de 18,2°C et 22,75°C. Ce qui reflète l'influence de la température atmosphérique ambiante caractéristique de la région de prélèvement des échantillons. En moyenne, ces températures relevées dans cette étude sont acceptables par rapport à la norme de l'OMS. Le pH est un facteur important pour préserver la santé et l'équilibre des écosystèmes aquatiques. Il est sujet aux influences de l'environnement à travers lequel la rivière traverse, en particulier, les constituants minéraux, la structure du sol et de roche pareillement [14]. Les pH observés au niveau des sites de prélèvement sont proches de la neutralité entre 6,5 et 7,3 ; qui pourraient être liés à la dilution des eaux par les précipitations, suite à la saison pluvieuse. Ces valeurs sont incluses dans la fourchette des directives préconisées par l'OMS (Tab. II). [15] affirme également que la faune et la flore se développent de manière optimale lorsque le pH est compris entre 5 et 9. Le résultat de cette analyse traduit une eau faiblement minéralisée exprimée par des valeurs de conductivité électrique inférieures à 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ conforme à la limite standard de l'OMS, mais également incluses dans l'intervalle de celles obtenues par [13] dans sa même étude. Cette observation semble être suite à la dilution des sels dissous et ions, engendrée par les pluies vue la période d'étude. Selon les indications de [16], les eaux de la rivière Tsiandanitra restent dans le seuil de tolérance (500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) pour la survie des poissons et ne posent pas de risques pour la consommation du point de vue de la conductivité. En ce qui concerne le TDS, il est un paramètre équivalent à la teneur en ions organiques et inorganiques dissous dans l'eau [17]. Les solides totaux dissous partagent une forte corrélation avec la conductivité électrique pour la présente étude (Tab. IV et Fig. 2). Concordant ainsi avec le travail réalisé par [18] qui a indiqué une conductivité électrique fortement corrélée aux TDS dans la rivière d'Omoku Creek, au Nigéria. Le profil de variation du TDS qui est proportionnel à l'évolution de la conductivité confirme donc la minimalité d'effet préjudiciable lié à la qualité de ces eaux suite aux faits qu'il est inférieur à la norme (400ppm) pour une eau douce potable [17] et est dans le seuil tolérable de l'OMS. Par ailleurs, les ions chlorures sont des composants naturels des eaux. Ainsi, leur existence dans les eaux n'est pas nocive mais signal l'arrivée d'une pollution dans le cas d'une concentration au-delà

du seuil naturelle (50mg/L). Vue les quantités rassemblées sur la rivière Tsiandanitra, elles sont plus élevées comparativement aux teneurs constatés par [19] ($11,98 \pm 1,17$ mg/L) pendant la saison de pluie en septembre 2022 sur la rivière Agbado traversant la ville de Savalou. Ces constatations issues de cette étude pourraient se rapporter à la structure géologique des sols et aux effluents urbains directement rejetés dans la rivière en étude, mais ne dégagent d'effets distincts ni s'écartent de la valeur guide de l'OMS. En outre, la turbidité donne un aperçu sur la quantité des matières en suspension dans l'eau, entre autres les particules de sédiments, d'argile ou de matières organiques. Elle est significativement corrélée à la DBO5 lors de cette observation (Tab. IV et Fig. 2). La DBO5 qui est une mesure reflétant la présence de matières organiques dans l'eau. En effet, les matières en suspension et les matières organiques sont souvent présentes simultanément dans l'eau, provenant des sources telles que les déchets domestiques et les eaux usées. En corollaire, lorsque la turbidité augmente, il est probable que la quantité de matières organiques soit également plus élevée, ce qui se traduit par une augmentation de la DBO5. Ce qui pourrait impliquer la corrélation positive entre ces deux paramètres (turbidité et DBO5). Pourtant, leurs niveaux se rapprochent respectivement de ceux obtenues par [19] dans leur même étude (avec une moyenne de 67,52 NTU) et inférieurs à ceux recueillis (35 à $42,56$ mg d'O₂/L) par [20] sur la rivière Lukunga dans la ville de Kinshasa. Ainsi, toutes les valeurs de la turbidité s'écartent largement des recommandations de l'OMS, probablement liées à l'environnement et aux activités anthropiques (fabrication des briques, riziculture, baignade ...) dans cette localité. Nonobstant les résultats de la DBO5, ils n'ont pas atteint le niveau important qui pourrait engendrer des conséquences néfastes sur l'environnement aquatique. Ceci s'est observé sur terrain par l'absence de prolifération des algues et la reproduction des poissons qui prouve donc une optimale concentration en oxygène. D'un autre côté, [21] affirme que la qualité bactériologique de l'eau est suspecte du fait de la forte turbidité qui pourrait permettre à des microorganismes de se fixer sur les particules en suspension. Cependant, le résultat de l'analyse microbiologique des eaux montre que la totalité des échantillons prélevés est polluée par la présence des streptocoques fécaux et des coliformes totaux. En effet, l'existence de l'un de ces microorganismes dans un 100ml d'échantillon d'eau désigne des eaux hors norme de l'OMS puisqu'ils sont des témoins de contamination fécale et de pathogènes potentiellement menaçant pour la santé humaine. Ainsi, la charge bactérienne en coliformes totaux et streptocoques fécaux présente des fluctuations respectives de 68,06 UFC/100mL et 59,87 UFC/100mL en moyenne. Cette concentration germinale dénombrée est très faible par rapport aux teneurs moyennes (d'ordre de 10^6 à 10^7) retrouvés par [22] auprès de l'Oued Beni Aza en Algérie dans sa recherche en 2010. Cette constatation indique que la rivière Tsiandanitra est moins polluée quoiqu'elle soit contaminée. Dans cet ordre d'idées, la pollution microbienne de la rivière pourrait être attribuée à des facteurs environnementaux et anthropiques parmi lesquelles figurent l'évacuation directe des eaux usées domestiques et la résidence de dépotoir d'ordures ménagères sur les rives ainsi que les activités exercées par les riverains pour le nettoyage du bétail et la lessive. En additif, le caractère presque neutre du pH peut être également l'origine de la prolifération de bons nombres de microorganismes entre autres les coliformes fécaux, les coliformes totaux et les streptocoques fécaux dans les eaux fluviales [23]. Les usagers des eaux de la rivière Tsiandanitra sont de ce fait exposés à des risques de maladies hydriques, que ce soit par voie transcutanée, par inhalation ou par ingestion directe de l'eau. La présente étude a aussi constaté une corrélation positive entre la DBO5, les streptocoques fécaux et les coliformes totaux (Tab. IV). Cette observation pourrait s'expliquer par le fait qu'une contamination fécale de l'eau et la présence des matières organiques fournissent une source de nutriments pour les microorganismes y présents. Lorsque les microorganismes se nourrissent des matières organiques, ils consomment de l'oxygène pour leur métabolisme, ce qui entraîne une diminution de la concentration en oxygène dissous dans l'eau. Ainsi, plus il y a de matières organiques, plus la DBO5 sera élevée, car il faudra plus d'oxygène pour décomposer ces matières. D'un autre part, cette étude a exposé que les abondances de streptocoques fécaux sont sensiblement corrélés positivement avec ceux des coliformes totaux dans les diverses échantillons d'eau (Tab. IV et Fig. 2). Cette approche statistique est similaire aux résultats obtenus par [24] dans son travail dans le cadre de suivi de la qualité bactériologique de la rivière Nahr Ibrahim en Liban. Effectivement, étant donné que ces bactéries ont tous deux une origine fécale, une augmentation de la concentration de matières fécales dans l'environnement de la rivière engendrera généralement une augmentation de la présence de ces deux types de bactéries. Selon [24], la corrélation significative des différentes variables bactériologiques analysées suggère qu'il serait suffisant de suivre une seule de ces variables pour garantir la surveillance de la qualité bactériologique de la rivière. Toutefois, il est important de noter que cette corrélation n'implique pas nécessairement une relation directe de cause à effet entre ces deux types de bactéries, mais plutôt une association commune due à leur source semblable. Finalement, les multiples analyses menées sur la rivière Tsiandanitra permettent de la catégoriser selon les critères de classification des eaux de surface préconisée

par le décret Malagasy¹ en fonction de la qualité de l'eau. Sous cet angle, la rivière Tsiandanitra se situe entre la classe A et la classe B qui lui attribue une qualité physicochimique moyenne tandis que sa qualité microbiologique lui renvoie directement dans la catégorie « hors classe » du fait de la présence de germes pathogènes. A cet effet, elle n'est pas adéquate pour certains usages liés à une exposition directe à part la navigation, autrement dit les loisirs et la baignade sont strictement interdits.

V. CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif d'établir une évaluation partielle en saison pluvieuse de l'état qualitatif de la rivière Tsiandanitra de la région Haute Matsiatra à Madagascar utilisée (sans traitement) par la population riveraine dans l'arrondissement Andrainjato Nord. Les données physicochimiques et bactériologiques recueillies issues des mesures in situ et des analyses en laboratoire ont été comparées aux normes de potabilité de l'OMS puis ont été catégorisées par le biais du décret Malagasy portant sur la classification des eaux de surface. Les résultats montrent que les valeurs du pH, de la température, de la conductivité, du taux de solides dissous et de la concentration en ions chlorures, correspondent aux normes préconisées par l'OMS. Par contre, l'étude menée a révélé une pollution vis-à-vis de la turbidité de l'eau, de la DBO5 et des teneurs en streptocoques fécaux et coliformes totaux qui dépassaient ces recommandations. Pour un nombre total de 31 échantillons sur trois sites de prélèvement et 8 variables, il en ressort des résultats statistiques une corrélation positive fortement significative entre la conductivité et le TDS et autant entre les streptocoques fécaux et les coliformes totaux, une corrélation positive moins significative entre la turbidité et la DBO5, de même entre la DBO5, les streptocoques fécaux et les coliformes totaux. L'ensemble de ces constatations attribue ainsi un caractère pollué de la rivière Tsiandanitra lors de la période d'étude. La pollution aperçue pourrait être associée à des facteurs environnementaux (riziculture, déversement de déchets ménagères, rejet d'eaux usées domestiques) ou anthropiques (nettoyage du bétail, baignade, lessive, besoin hygiénique, fabrication des briques). L'évaluation a aussi indiqué que des dangers sanitaires pèsent sur la population usagère quant à la contraction de maladies hydriques. La vie aquatique est autant exposée à une menace suite à la vulnérabilité du milieu. Le niveau de dégradation de la rivière ne suscite pas encore une inquiétude majeure, mais il exige une surveillance constamment à long terme et une attention soutenue afin d'éviter les éventuelles conséquences graves dans le futur, vu que la présente évaluation est loin d'être exhaustive et peut prendre considération en tant qu'étude préliminaire.

REMERCIEMENTS

Les auteurs de cet article remercient le Laboratoire de Chimie de la faculté des sciences à l'Université de Fianarantsoa et Centre National de Recherche sur l'Environnement à Fiadanana Antananarivo pour sa contribution dans l'eau des eaux et l'équipe de Madame RANDIMBIARISON Nasolo Sedravola dans sa collaboration à la réalisation de la cartographie. Nos reconnaissances s'adressent également à Professeur RAZANAMPARANY Bruno et Professeur RAKOTOZAFY Jean Claude Richard pour leur soutien sans faille dans l'accomplissement de ce travail.

REFERENCES

- [1]. Afri-Mehennaoui F.Z., Sahli L., Mehennaoui S., 2009. Evaluation de la contamination par le Cadmium, le plomb et le zinc de l'eau, des sédiments de l'Oued Rhumel et son affluent le Boumerzoug, et leur transfert vers une plante semi-aquatique : *Rorippa nasturtiumaquaticum* (L.). *Sciences & Technologie*. 29: 45-55.
- [2]. Bagalwa M., 2013. Estimation of pollution loading into Lake Kivu. Case of Kahuwa micro-catchment in DR Congo. Thesis of Master, UEA, Bukavu, 71p
- [3]. Ndahama N., Bagalwa M., Bayongwa C., 2014. Etude de la pollution organique totale et fécale dans les systèmes aquatiques de l'Est de la République Démocratique du Congo. *Afrique Science* 10(2) : 328 –337.
- [4]. WHO (World Health Organization), 2017. Don't pollute my future! The impact of the environment on children's health. <http://www.who.int/phe>
- [5]. Royer E. 2013. Les pratiques en matière de surveillance et de gestion des eaux de plages publiques au Québec : Protègent-elles la santé de la population? *Maîtrise en environnement*, p. 5 ; 92p.

¹Décret Malagasy n°2003/464 du 15/04/03

- [6]. Errochdi S., El Alami M., Bennas N., Belqat B., Ater M., Fdil F.,2012. Etude de la qualité physicochimique et microbiologique de deux réseaux hydrographiques nord marocains : Laou et Tahaddart. Méditerranée. 118: 41-51. URL : <http://mediterranee.revues.org/6221>
- [7]. Servais P, Billen G, Garcia-Armisen T, George I, Goncalvez A., Thibert S. 2009. La contamination microbienne dans le bassin de la Seine. Edition. Agence de l'Eau Seine Normandie, p. 49.
- [8]. Aguiza A.E., Ombolo A., Ngassoum M.B., Mbawala A., 2014. Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des cours d'eaux de N'Gaoundéré au Cameroun. Afrique science. 10(4): 135 -145
- [9]. Guide de l'immigrant à Madagascar, ouvrage publié au gouvernement général, avec le concours du comité de Madagascar. Tome 1. page 128)
- [10]. CREAM. Monographie Région Haute Matsiatra. Février 2013. p.13-20
- [11]. Jean RODIER, Bernard L., Nicole M. et coll. L'Analyse de l'eau. DUNOD. 2009. 9ème édition. p.4, p.257
- [12]. L. AKATUMBILA, M. MABIALA, A. LUBINI, K. PWEMA et E. A. MUSIBONO, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N°26 (2016) 7 - 29 p.
- [13]. Jaofara, Rasoarivola R., Bisoa V., Razafitsiferana T., Lehimena C. Application des methods statistiques sur les études qualitative et comparative des eaux de surface (Rivière Bealanana et Lac Bedinta) en vue d'une proposition de nouvelle source d'eau de consommation dans la commune urbaine de Bealanana, Région Sofia, Madagascar. American Journal of Innovative Research and Applied Sciences. ISSN 2429-5396
- [14]. Korfali SI, Jurdi M. 2011. Suitability of surface water for domestic water use. Awali River Case Study: European Water, 35: 3-12.
- [15]. Blinda M. 2007. Pollution tellurique du littoral Nord-Ouest du Maroc entre Tanger et Tétouan: Caractérisation, impact sur l'environnement et proposition de solutions. Thèse de doctorat, université Mohammed V, Faculté des Sciences, Rabat, 194 pp.
- [16]. ONUNGA MBOTEKOLA, G. Filière poisson dans l'espace péri-urbain de Kinshasa : cas du bassin versant de la Lukaya (cours moyen). Mémoire DESS, (2012) 93 p. Inédit
- [17]. H. TFEIL, M. MAHFOUDH, B. A. M. MHAMED, A. ALIYEN, L. YARBA and A. M. V. HMEYADA, European Scientific Journal, Vol. 14, N°6 (2018) ISSN : 1857 - 7881 (Print) e - ISSN 1857 - 7431
- [18]. Ewa EE, Iwara AI, Adeyemi JA, Eja EI, Ajake AO, Otu CA. 2011. Impact of Industrial Activities on Water Quality of Omoku Creek. Sacha J Environ Studies, 1(2):8-16.
- [19]. Flavien E. DOVONOU, Firmin S. ENINHO, Clément K. BALOGOUN, Wilfrid N.ATCHICHOE, Daouda MAMA, Jean-Pierre VANDERVAERE, Journal of Applied Biosciences , Vol: 187(2023), 186: 19747- 19770 ISSN 1997-5902
- [20]. Kawaya J.M., Otamonga J.P., Ngelinkoto P., Kabatusuila P., Mubedi ilunga J., Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n°29, Mars 2017, pp. 121-136
- [21]. D. GHAZALI et A. ZAID, Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, N° 12 (Janvier 2013) 25 - 36 p
- [22]. Abdelmalek Bengherbia, Fella Hamaidi, Rabia Zahraoui, Mohand Said Hamaidi et Smain Megateli, Lebanese Science Journal, Vol. 15, No. 2, 2014
- [23]. Manizan N.P., Ouattara A., Gourene G., Dosso M., 2010. Influence des caractéristiques physico-chimiques sur la distribution spatiotemporelle des densités bactériennes dans les systèmes fluvio-lacustres de la Bia, Sud-Est de la Côte d'Ivoire. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 15: 201-210
- [24]. Hamid B.S., Nadine N., Antione G.El.S., Rosette D., Samir M., Naim O. Suivi de la qualité bactériologique des de surface (Rivière Nahr Ibrahim, Liban). Revue des Sciences de l'eau ISSN 1718-8598