

ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIÉS À LA QUALITÉ DE L'EAU DE PLUIE STOCKÉE DANS UNE CITERNE EN BÉTON : ÉTUDE DE CAS À IVORY AVARATRA, FIANARANTSOA, MADAGASCAR



EVALUATION OF HEALTH RISKS RELATED TO THE QUALITY OF RAINWATER STORED IN A CONCRETE CISTERN: A CASE STUDY IN IVORY AVARATRA, FIANARANTSOA, MADAGASCAR

| Andry Harinaina, Rabearisoa ^{1*} | Ravo Victoire, Nasolomampionona ¹ | Bertrand, Manjolongo ¹ | Bruno, Razanamparany ² | Nasolo Sedravola, Randimbiason ³ | Miharisoa Anasthasie, Jibo ³ | Tolojanahary Sandra, Fidiarilanto ³ | et | Hajandrainy Rabearisoa ³ |

¹ Université de Fianarantsoa | Ecole Normale Supérieure : Sciences et technologies | Fianarantsoa | Madagascar |

² Université d'Antananarivo | Ingénierie en Sciences et Techniques de l'eau | laboratoire de Chimie de la faculté des sciences | Antananarivo | Madagascar |

³ Université de Fianarantsoa | Faculté des Lettres et Sciences Humaines | Fianarantsoa | Madagascar |

DOI: 10.5281/zenodo.8416718 | Received August 04, 2023 | Accepted September 10, 2023 | Published October 07, 2023 | ID Article: Rabearisoa-Ref1-4-17ajiras041023 |

RÉSUMÉ

Introduction : La croissance démographique exponentielle accentue le besoin croissant en eau, malgré le fait que seulement 3% de l'eau sur terre est douce. Dans ce contexte, la collecte d'eau de pluie est devenue une pratique répandue à l'échelle mondiale. Toutefois, les eaux de pluie recueillies pendant les périodes pluviales posent des défis en raison de la possibilité de contamination par des polluants provenant des toitures, tels que débris, végétaux et animaux. **Objectif** : Notre étude vise à évaluer les risques sanitaires et les problèmes environnementaux associés à la qualité de l'eau de pluie stockée dans une cuve en béton. À cette fin, des échantillons ont été collectés au cours de la période de mars, et les problèmes de qualité de l'eau ont été évalués en fonction des paramètres suivants : température, pH, conductivité et TDS, turbidité, chlorure, titre alcalimétrique, streptocoques fécaux et coliformes totaux. **Méthodes** : Les échantillons ont été prélevés et analysés pour déterminer la présence de contaminants chimiques et microbiologiques. Les paramètres tels que la température, le pH, la conductivité, la turbidité, les chlorures, le titre alcalimétrique, les streptocoques fécaux et les coliformes totaux ont été mesurés afin d'évaluer la qualité de l'eau de pluie stockée dans la cuve en béton. **Résultats** : Les résultats d'analyse indiquent des contaminations chimiques, notamment des niveaux élevés de chlorures (89,54 mg/L), un pH élevé (8,42), et un titre alcalimétrique notable (0,324). Sur le plan microbiologique, des contaminations ont été observées, notamment des turbidités élevées (4,94 NTU), une présence significative de streptocoques fécaux (73 ufc/100 mL), et une conductivité de 43,33 µS/cm. Ces résultats mettent en lumière des dangers potentiels liés à la qualité microbiologique de l'eau de pluie, bien que les risques associés à la qualité physico-chimique soient relativement faibles. **Conclusion** : En conclusion, la collecte d'eau de pluie, bien que bénéfique en termes de gestion des ressources en eau, présente des risques potentiels pour la santé humaine et l'environnement. Les niveaux élevés de contaminants chimiques et microbiologiques soulignent la nécessité de mettre en œuvre des mesures de gestion appropriées pour garantir la qualité de l'eau stockée dans les cuves en béton, contribuant ainsi à l'utilisation durable de cette précieuse ressource.

Mots clés : eaux de pluie stockée, risque sanitaire, physico-chimique, bactériologique, analyse multivariée.

ABSTRACT

Introduction: The increasing demand for water is exacerbated by the blatant demographic explosion, despite the fact that only 3% of Earth's water is freshwater. In this context, rainwater harvesting has become a widespread practice globally. However, rainwater collected during rainy periods poses challenges due to potential contamination from pollutants on roofs, such as debris, vegetation, and animals. **Objective**: Our study aims to assess the health risks and environmental problems associated with the quality of rainwater stored in a concrete tank. To achieve this, samples were collected during the March period, and water quality issues were evaluated based on the following parameters: temperature, pH, conductivity and TDS, turbidity, chloride, alkalinity, fecal streptococci, and total coliforms. **Methods**: Samples were collected and analyzed to determine the presence of chemical and microbiological contaminants. Parameters such as temperature, pH, conductivity, turbidity, chlorides, alkalinity, fecal streptococci, and total coliforms were measured to assess the quality of rainwater stored in the concrete tank. **Results**: Analysis results indicate chemical contaminations, including high levels of chlorides (89.54 mg/L), elevated pH (8.42), and a notable alkalinity (0.324). Microbiologically, contaminations were observed, including high turbidity (4.94 NTU), a significant presence of fecal streptococci (73 cfu/100 mL), and a conductivity of 43.33 µS/cm. These findings highlight potential dangers related to the microbiological quality of rainwater, although risks associated with physico-chemical quality are relatively low. **Conclusion**: In conclusion, rainwater harvesting, while beneficial for water resource management, presents potential risks to human health and the environment. Elevated levels of chemical and microbiological contaminants underscore the need to implement appropriate management measures to ensure the quality of water stored in concrete tanks, thereby contributing to the sustainable use of this precious resource.

Keywords: stored rainwater, health risk, physicochemical, bacteriological, multivariate analysis.

1. INTRODUCTION

L'eau destinée à la consommation représente une ressource rare et indispensable pour les êtres humains, constituant seulement 3% des eaux douces sur terre, parmi lesquelles se trouvent les eaux de pluie. La récupération et la réutilisation de l'eau de pluie sont devenues des pratiques répandues à l'échelle mondiale, y compris à Madagascar, où cette ressource est consommée par les ménages, principalement dans les pays en développement. Bien que cette

pratique soit pratique, la consommation d'eaux de pluie stockées pose un problème majeur en raison de l'inaccessibilité aux ressources d'eau potable.

Selon l'OMS (2005), des centaines de millions de personnes n'ont pas accès à de l'eau potable, une situation plus prégnante dans les pays africains [1]. En 2019, seulement 23% de la population à Madagascar avait accès à cette ressource [2], soulignant les défis persistants liés à l'accès à l'eau potable. En raison du manque de ressources en eau douce, une grande partie de la population mondiale récupère les eaux de pluie à des fins de consommation, utilisant divers types de stockage à proximité des toitures ou des gouttières, tels que les citernes en plastique polyéthylène et les cuves en béton. Dans les pays émergents, la plupart des ménages optent pour des réservoirs en béton [3] en raison de considérations financières. Cependant, cette pratique comporte des risques de contamination, car l'eau collectée peut être contaminée par des débris végétaux, des animaux ou des produits chimiques provenant de matériaux de toiture défectueux. De plus, le revêtement interne des réservoirs en béton ou les polluants atmosphériques peuvent altérer la qualité de l'eau récupérée.

Une enquête menée auprès des ménages utilisant des eaux de pluie stockées a révélé que la plupart d'entre eux nettoient leurs réservoirs seulement une fois par an, entraînant une consommation d'eau non améliorée par la majorité de la population dans ces pays. Cette qualité inférieure de la ressource peut avoir des répercussions directes ou indirectes sur la santé humaine, favorisant des maladies d'origine hydrique telles que le choléra et la diarrhée, résultant d'une contamination par des déchets d'origine chimique, humaine ou animale. Chaque année, 1,8 million de personnes, dont 90% sont des enfants de moins de cinq ans, principalement dans les pays en développement, succombent à des maladies diarrhéiques, dont le choléra [4]. En 2015, l'OMS a confirmé que 4 milliards d'infections gastro-intestinales étaient attribuables à des bactéries, virus et parasites chaque année [5]. Dans ce contexte, cette étude vise à évaluer les risques sanitaires liés à la qualité de l'eau de pluie stockée dans une cuve en béton. À cette fin, des analyses physico-chimiques et bactériologiques, ainsi que des analyses en composante principale (ACP), ont été réalisées pour analyser ces risques de manière approfondie.

2. MATERIELS ET METHODES

2.1 Zone d'étude

La région Haute Matsiatra se situe dans la province de Fianarantsoa, dans le centre de l'île de Madagascar et se trouve entre 45,51° et 47,41° longitude Est et 20,68° et 22,21° latitude Sud. Celle-ci est composée de sept districts dont Ikalamavony, Isandra, Ambohimahaso, Lalangina, Vohibato, Ambalavao et Fianarantsoa I. Le dernier district, quant à lui, a une seule commune dont la commune de Fianarantsoa I. Cette commune possède 50 fokontany qui ont des ressources en eau tels que eaux de puits, eaux de pluies stockées dans les citernes dont Ivory Avaratra fait partie mais l'accès à l'eau potable est insuffisant. Dans ce fokontany, les principales sources d'eau de consommation sont les eaux de pluies collectées en aval de toitures. C'est la raison pour laquelle les échantillons ont été prélevés dans les trois sites site I, site II et site III qui est illustré dans le tableau 1 et la figure 1.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des sites de prélèvements.

Sites de prélèvements	Coordonnées géographiques
Site I	21°26'836" de latitude Sud 47°05'654" de longitude Est
Site II	21°26'844" de latitude Sud 47°05'674" de longitude Est
Site III	21°26'841" de latitude Sud 47°05'666" de longitude Est

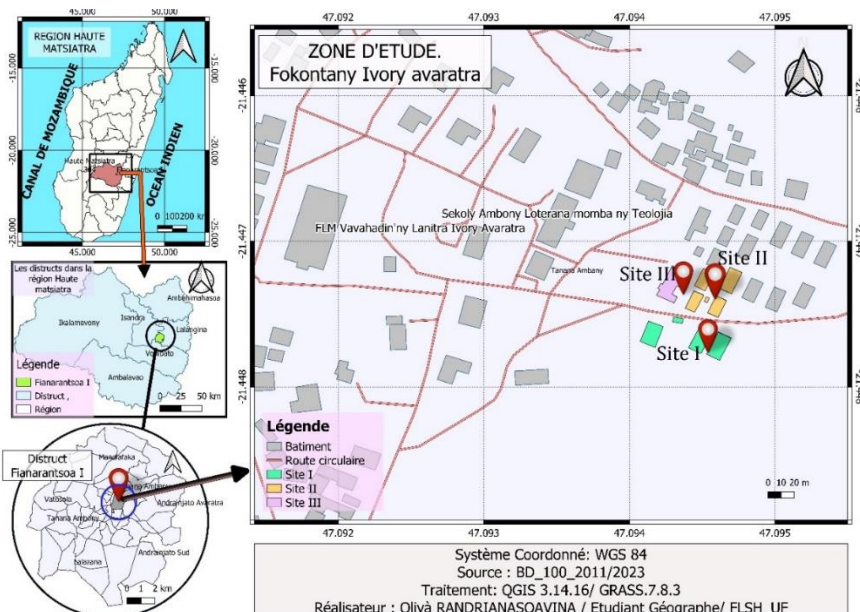


Figure 1 : Présentation de la zone d'étude et des sites de prélèvements.

2.2 Échantillonnage de l'eau

L'échantillonnage rigoureux de l'eau de pluie a été effectué avec une grande précision, débutant le lundi 13 mars 2023 et se poursuivant jusqu'au vendredi 17 mars 2023, à 8 heures du matin et 15 heures l'après-midi, sur les emplacements spécifiés sur la figure 1. Des bouteilles en plastique d'une capacité de 1000 ml et 500 ml ont été méticuleusement choisies pour le prélèvement des échantillons. Préalablement, ces bouteilles ont été rincées deux fois à l'eau du robinet, puis trois fois avec l'échantillon d'eau de pluie.

Au total, 21 échantillons ont été collectés, répartis en 10 pour le site 1, 6 pour le site 2, et 5 pour le site 3. Chaque échantillon a été minutieusement étiqueté avant d'être acheminé au laboratoire dans une glacière contenant des glaces, garantissant ainsi une conservation optimale.

Afin de prévenir toute activité biologique indésirable, ces échantillons ont été soigneusement conservés dans un réfrigérant maintenu à une température de 4°C, assurant leur stabilité avant d'être soumis aux analyses approfondies en laboratoire.

2.3 Analyses physico-chimiques

Les paramètres température et pH ont été prises *in situ* à l'aide d'un thermomètre digital JR-1 et pH-mètre de type CE *range 0.00-14.00pH*. La turbidité, la conductivité électrique (CE), Total Dissout Solution (TDS), dosage des chlorures, Titre Alcalimétrique (TA)) ont été analysés au sein des laboratoires de chimie de la faculté des sciences à Fianarantsoa et du Centre Nationale de Recherche sur l'Environnement (CNRE) à Antananarivo. La turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre de type Palintest® tandis que la conductivité et le TDS ont été déterminée grâce à un TDS&EC-mètre de type E-1.

Le dosage en chlorure a été effectué en titrant l'échantillon de 10mL d'eau par la solution de nitrate d'argent de concentration massique $C_{AgNO_3} = 2,09g/l$ en présence de Chromate de potassium ($2K^+ + CrO_4^{2-}$) à 10% selon la norme ISO 9297 :1989. Le niveau de chlorure est déterminé par les formules (1) et (2) suivantes :

$$[NaCl](mg/L) = \frac{V_{AgNO_3} \times [AgNO_3] \times M_{NaCl} \times 1000}{M_{AgNO_3} \times V_{ech}} \quad (1)$$

$$\text{Ainsi : } [Cl^-](mg/L) = [NaCl] \times \frac{35,5}{58,5} \quad (2)$$

V_{AgNO_3} [mL]: volume équivalent de la solution titrante d'AgNO₃ ;

$[AgNO_3]$ [g/L]: concentration initiale 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 dans le bécher.

Le TA a été conçu pour mesurer la concentration d'une solution acide en ajoutant deux gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine dans 100mL d'eau. Une coloration rose doit alors se développer. Dans le cas où TA est nul (pH < 8,3), verser ensuite doucement l'acide dans la fiole à l'aide d'une burette, en agitant constamment et ceci jusqu'à décoloration complète de la solution (pH = 8,3). Soit V le volume d'acide utilisé pour obtenir le virage.

$$TA : \frac{V}{5} \quad (4)$$

L'équation (4) exprime le titre alcalimétrique (TA) en milliéquivalents par litre ; V exprime le titre alcalimétrique en degrés français (1° f correspond à 10 mg de carbonate de calcium ou à 0,2 mEq/l ; 10mg de carbonate de calcium = 6mg de carbonate + 4mg de calcium ; 5 veut dire dilution cinq fois de la concentration N de l'acide chlorhydrique (HCl).

2.4 Analyse microbiologique

Les méthodes normalisées par filtration sur membrane de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) ont été employées pour la recherche et le dénombrement des germes contaminants dans les eaux de pluie stockées (voir le tableau 2). Pour la détection des streptocoques fécaux, le milieu Slantez et Bartley a été utilisé comme milieu de culture, tandis que la gélose lactosée a été employée pour la recherche des coliformes totaux. Ces microorganismes ont été filtrés à partir d'échantillons d'eau, soit dilués une fois, soit non dilués. Les membranes, contenant le filtrat de ces bactéries, ont été déposées dans des boîtes de Petri d'un diamètre de 55 mm. Enfin, ces boîtes de Petri ont été incubées dans une chambre d'incubation à une température de 37°C pendant 48 heures.

Le dénombrement des colonies a été effectué en observant les caractéristiques des colonies, avec une coloration rouge ou rose pour les coliformes totaux et une coloration marronne pour les streptocoques fécaux.

Tableau 2 : Germes recherchés et méthodes de dénombrement dans les eaux de pluie analysées.

Germes recherchés	Milieux de culture	Méthodes normalisées	Température/ Temps d'incubation	Critère OMS	Colonies caractéristiques
Coliformes totaux	Slanetz et Bartley	ISO 9308-1 : 2800	37°C / 48h	0/100ml	Colonie rouge/ Rose
Streptocoques fécaux	Gélose lactose	ISO 7899-2 : 2000	37°C / 48h	0/100ml	Colonie marron

2.5 Analyse de données

L'analyse en composante principale a été utilisée pour l'analyse des données statistiques des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. Pour cela, la matrice de corrélation des variables a été présentée pour permettre à mieux interpréter la corrélation entre les paramètres. La projection de ces variables dans le plan des axes F1x2 a été obtenue. C'est le logiciel IBM-SPSS version 22 qui a été utilisé pour le traitement de données en ACP.

3. RESULTATS

Les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques de l'eau de pluie stockée dans les cuves en béton sont répertoriées dans le tableau 3. Les températures moyennes de l'eau de pluie aux sites d'étude I, II et III sont respectivement de 18,89°C, 20,56°C et 19,32°C, variant entre 17,3°C et 23,3°C. Le site II affiche la température la plus élevée par rapport aux autres sites. Les valeurs de pH oscillent de 7,30 à 8,95 pendant la période de pluie, avec des moyennes de 8,84 pour le site I, 7,41 pour le site II et 8,78 pour le site III. Ils présentent une légère alcalinité pour les sites I et III, tandis que le site II est plus ou moins neutre. En ce qui concerne le chlorure, les concentrations varient entre 52,414 mg/l et 139,769 mg/l, avec des moyennes respectives de 74,471 mg/l (site I), 103,080 mg/l (site II) et 103,080 mg/l (site III). Le site II affiche la plus forte teneur en chlorure. La turbidité augmente de 3,3 NTU à 8,56 NTU, le site I présentant une forte matière en suspension avec une turbidité moyenne de 5,807 NTU, tandis que les sites II et III affichent respectivement des valeurs moyennes de 3,6717 NTU et 4,710 NTU.

Les valeurs du titre alcalimétrique (TA) varient de 0 mg/l à 0,6 mg/l, avec des moyennes de 0,47 mg/l pour le site I, 0 mg/l pour le site II et 0,46 mg/l pour le site III. En ce qui concerne les analyses microbiologiques, les eaux de pluie des sites d'étude présentent des colonies de streptocoques fécaux variant de 26 ufc/100 ml à 130 ufc/100 ml. Les sites I, II et III présentent respectivement des colonies de ces bactéries de 90 ufc/100 ml (le plus pollué), 42 ufc/100 ml et 76 ufc/100 ml. En ce qui concerne les coliformes totaux, aucun site ne présente de colonies de ces bactéries.

Tableau 3 : Résultats statistiques des paramètres physico-chimiques et microbiologiques pour chaque site de prélèvement.

Sites		Minimu m	Maximum	Moyenne	Oms
Site I	T°(°C)	17,3	23,3	18,890	<25°C
	pH	8,72	8,95	8,838	6,5 à 8,5
	CE(μS/cm)	48	68	59,40	<1200
	TDS(ppm)	24	34	29,7	-
	[Cl ⁻](mg/l)	52,414	96,092	74,471	< 250
	Turbidité(NTU)	4,00	8,56	5,807	< 5
	TA(mg/l)	0,4	0,6	0,470	-
	SF(ufc/100ml)	50	130	90,20	0
CT(ufc/100ml)	0	0	0	0	
Site II	T°(°C)	17,5	22,0	20,567	<25°C
	pH	7,30	7,56	7,4133	6,5 à 8,5
	CE(μS/cm)	26	58	31,33	<1200
	TDS(ppm)	13	29	15,6	-
	[Cl ⁻](mg/l)	74,253	126,666	103,371	< 250
	Turbidité(NTU)	3,30	4,25	3,6717	< 5
	TA(mg/l)	0	0	0,000	-
	SF(ufc/100ml)	26	58	41,83	0
CT(ufc/100ml)	0	0	0	0	
Site III	T°(°C)	17,5	21,1	19,320	<25°C
	pH	8,67	8,87	8,782	6,5 à 8,5
	CE(μS/cm)	24	26	25,60	<1200
	TDS(ppm)	12	13	25,3	-
	[Cl ⁻](mg/l)	82,988	139,769	103,080	< 250
	Turbidité(NTU)	4,00	5,23	4,710	< 5
	TA(mg/l)	0,2	0,6	.420	-
	SF(ufc/100ml)	62	86	76,40	0
CT(ufc/100ml)	0	0	0	0	

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. Le tableau 4 et la figure 2 représentent la corrélation des paramètres physico-chimiques et

microbiologique avec les composantes principales. Ils montrent que les paramètres pH ($r = 0,921$), turbidité ($r = 0,74$), TA ($r = 0,89$) et SF ($r = 0,817$) sont corrélés significativement et positivement à la première composante tandis que les paramètres CE ($r = 0,826$) est le seul qui a une corrélation significative et positive avec la deuxième composante, les autres tels que température ($r = -0,548$) et Cl⁻ ($r = -0,847$) ont des corrélations significative et négative.

Tableau 4 : Corrélation des paramètres physico-chimiques et microbiologique avec les composantes principales

Paramètres physico-chimiques	Composante	
	1	2
T°(°C)	0,370	0,548
pH	0,921	0,223
CE (µS/cm)	0,326	0,826
[Cl ⁻]	0,069	0,847
Turbidité (NTU)	0,740	0,482
TA (mg/l)	0,890	0,095
SF (ufc/100ml)	0,817	0,436

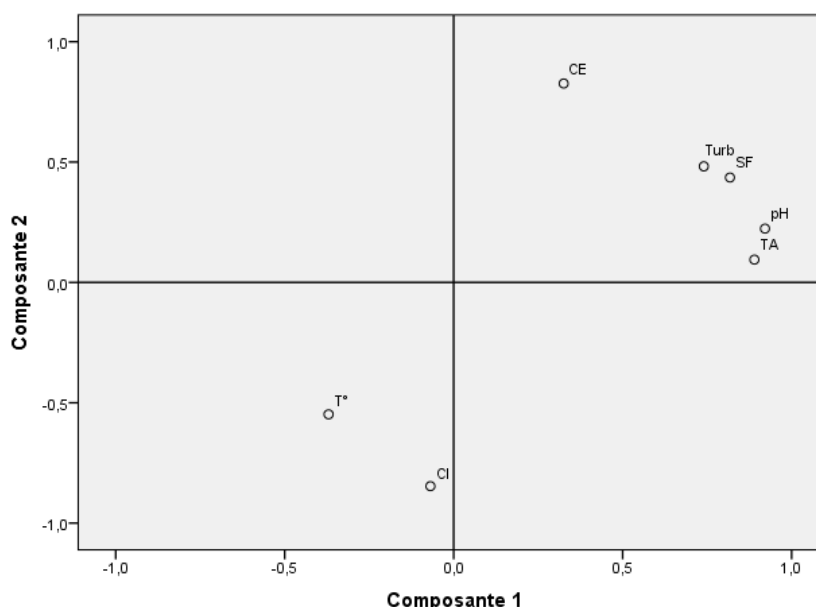


Figure 2 : Corrélation des paramètres avec les composantes principales.

Le déterminant non nul signifie des pertinences de données étudiées entre les paramètres.

Les liens significatifs qui existent entre les différents paramètres sont donnés par la matrice de corrélation du tableau 5. Ces liens sont traduits par les différentes corrélations qui existent entre les variables étudiées. La turbidité est fortement corrélée à streptocoque fécaux ($r = 0,906$), et a une corrélation significative et positive avec titre alcalimétrique TA ($r = 0,581$), pH ($r = 0,677$) et conductivité électrique ($r = 0,616$), ainsi la corrélation significative et négative existe entre la turbidité et température ($r = -0,508$). La corrélation est également observée sur les couples suivants : T°/Turbidité ($r = -0,508$), T°/SF ($r = -0,614$), pH/TA ($r = 0,898$), pH/SF ($r = 0,805$), CE/Cl⁻ ($r = -0,636$), CE/SF ($r = 0,537$) et TA/SF ($r = 0,616$).

Tableau 5 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques et microbiologiques.

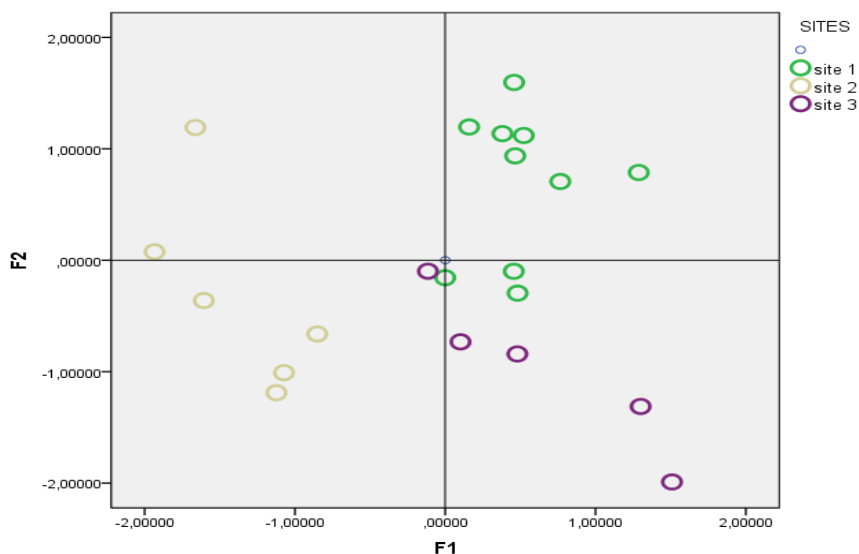
	T°	pH	CE	[Cl ⁻]	Turbidité	TA	SF
T°(°C)	1,000						
pH	0,387	1,000					
CE(µS/cm)	0,469	0,470	1,000				
[Cl ⁻](mg/l)	0,242	0,370	0,636	1,000			
Turbidité(NTU)	0,508	0,677	0,616	0,372	1,000		
TA(mg/l)	0,242	0,898	0,456	0,256	0,581	1,000	
SF(ufc/100ml)	0,614	0,805	0,537	0,370	0,906	0,616	1,000

Le Tableau 6 consigne les valeurs propres, les variances exprimées pour chaque composante. La composante 1, avec une variance exprimée de 60,622%, est le plus important de tous, ensuite viennent les composante 2 avec respectivement 14,873% 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%.

Tableau 6 : Valeurs propres de chaque composante ;

Composante	Valeurs propres initiales		
	Total	% de la variance	% cumulé
1	4,244	60,622	60,622
2	1,041	14,873	75,495
3	0,850	12,142	87,637
4	0,408	5,830	93,467
5	0,345	4,933	98,401
6	0,089	1,274	99,674
7	0,023	0,326	100,000

La figure 3 explique que dans la partie $\frac{1}{4}$ gauche et négative présente majoritairement les échantillons du site2, dans la partie $\frac{1}{4}$ droite et positive présente abondamment ceux du site1, et la partie $\frac{1}{4}$ droite et négative présente les échantillons du site3.

**Figure 3** : Projection des échantillons sur le plan factorielle F1-F2.

4. DISCUSSION

L'objectif de cette étude est d'analyser certaines caractéristiques des eaux de pluie stockées dans une cuve en béton à Ivory Avaratra, afin d'évaluer les problèmes environnementaux ainsi que les risques liés à l'utilisation de ces ressources. Les analyses physico-chimiques ont révélé que les températures moyennes de chaque site oscillent entre 18,89°C et 20,56°C. Ces valeurs restent en dessous de la limite fixée par l'OMS (< 25°C) et sont inférieures à celles relevées par Stéphanie Maïga-Yaleu et al., (2016) (température moyenne de 27°C) dans une étude sur l'hydrochimie des eaux de pluie en région sahélienne [6]. Cette condition favorise la survie rapide des microorganismes, ce qui pourrait présenter des risques pour la santé humaine en cas de consommation. De plus, l'eau agit comme un solvant dans cette condition, entraînant une concentration accrue des polluants atmosphériques.

Selon les normes établies par l'OMS, les valeurs de pH des eaux doivent être comprises entre 6,5 et 8,5 [7]. Cependant, cet intervalle n'est pas respecté pour le site I, dont les valeurs varient entre 8,72 et 8,98, et le site III, avec des valeurs minimales de 8,67 et maximales de 8,87. Ces sites présentent un pH basique, conforme aux résultats de Yujie (pH variant entre 6,5 et 9,5) [8] et Deffontis et al., (2013) (pH oscillant entre 8,7 pour le temps sec et 8,9 pour le temps pluvial) [9]. En revanche, le site II respecte ces normes, avec un pH acide variant entre 7,3 et 7,56, similaire à celui de Maïga-Yaleu et al., (2016) (pH compris entre 6,7 et 7,2). La tendance basique de l'eau de pluie aux sites I et III pourrait résulter de composés (azote, ammoniac, etc.) provenant de l'atmosphère transportés par des poussières, comme le suggèrent plusieurs études indiquant des concentrations plus élevées de polluants pendant les premières minutes d'un événement pluvieux [3]. Cette basicité pourrait également être due à la libération de métaux tels que le calcium, le magnésium et le fer liés au stockage, rendant l'eau potentiellement corrosive et susceptible de libérer des substances dangereuses pour la santé et d'endommager le béton de la cuve, expliquant ainsi l'excès de carbonate de calcium détecté par dosage volumétrique (détermination par TA). Contrairement au site II, qui en raison de son pH acide, ne présente généralement aucun effet corrosif sur la santé (TA nul).

La conductivité électrique (CE) et les solides totaux dissous (TDS) sont des indicateurs de la salinité et de la pollution de l'eau. Leurs valeurs respectives se situent entre 25,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 59,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$, et entre 12,3 ppm et 28,7 ppm, conformément aux normes de l'OMS, qui fixe une limite de 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus

dans l'étude menée par Flavien et al., (2020) [10] et indiquent une faible minéralisation de l'eau. Bien que l'eau contienne des sels minéraux ou organiques, une faible concentration de solides dissous ne garantit pas nécessairement la pureté de l'eau.

La turbidité de l'eau permet d'évaluer la présence de matières en suspension. Les résultats d'analyse indiquent des valeurs moyennes respectivement de 5,807 NTU, 3,6717 NTU et 4,71 NTU pour les stations I, II et III. Ces valeurs sont conformes aux normes de l'OMS pour les stations II et III, ne dépassant pas les 5 NTU, et similaires à celles rapportées par Flavien et al., (2020) [10]. Cependant, la station I ne respecte pas ces réglementations et se rapproche des résultats obtenus par Deffontis (2013). La présence de particules en suspension crée un environnement propice à la croissance des microorganismes. Cette concentration de particules en suspension favorise la croissance bactérienne, augmentant ainsi les risques de contamination microbienne et pouvant obstruer les cuves, réduisant ainsi leur capacité de stockage d'eau.

Les concentrations moyennes en chlorure varient entre 74,471 mg/l pour le site I et 103,371 mg/l pour le site II, avec une moyenne de 93,64 mg/l pour l'ensemble des trois stations. Ces valeurs se révèlent faibles par rapport à la limite établie par l'OMS (< 250 mg/l) et sont inférieures à celles rapportées par Maïga-Yaleu et al., (2016) (199 µeq.l-1, soit 5,62 mg/l en moyenne) [6]. Ces résultats suggèrent la présence de différentes formes de sels dans l'eau, tels que NaCl, KCl, CaCl₂, etc., présentant des risques potentiels pour la santé humaine. La présence élevée de NaCl peut être dangereuse pour les personnes souffrant de problèmes cardiaques ou d'hypertension artérielle. La présence de chlorures dans l'eau indique souvent une pollution d'origine anthropique (fumée industrielle, déchets sur les toitures emportés par l'eau lors des événements pluvieux) et naturelle (précipitation atmosphérique).

En ce qui concerne les paramètres microbiologiques, l'eau peut être contaminée par des matières fécales, potentiellement contenant des bactéries pathogènes selon Flavien et al., (2020) [1]. Les coliformes totaux (CT) et les streptocoques fécaux (SF) font partie des indicateurs de contamination fécale [11] utilisés pour évaluer la qualité et les risques liés à l'eau. Les résultats montrent que les eaux de pluie stockées sont contaminées par les SF, avec des teneurs variants entre 26 ufc/100 ml et 130 ufc/100 ml, tandis que la contamination par les CT s'avère négative (aucun germe). Les valeurs trouvées pour les CT sont conformes à la limite de l'OMS, contredisant les résultats obtenus par Hounsinou (Bénin) [10], tandis que celles des SF ne le sont pas et se rapprochent de celles de NGUYEN-DEROUCHE, qui a trouvé 21% d'entérocoques fécaux [12]. La pollution pourrait être liée à la contamination fécale d'animaux (chats, oiseaux, etc.) sur les toitures, conduisant l'eau contaminée dans le bassin de stockage lors d'un événement pluvial. L'eau contaminée devient ainsi un vecteur de maladies hydriques, présentant des risques sanitaires potentiels, tels que des épidémies de maladies diarrhéiques d'origine bactérienne dues à Salmonella, des pneumonies ou gastroentérites causées par Legionella.

L'analyse en ACP vise à mettre en évidence l'homogénéité des échantillons analysés pour évaluer les différentes pollutions environnementales et les risques associés. Les résultats ont révélé que les deux composantes principales regroupent près de 70% des informations. La première composante (liée au pH, à la turbidité, au titre alcalimétrique (TA) et aux streptocoques fécaux (SF)) reflète la pollution microbienne, tandis que la deuxième (corrélation avec la conductivité électrique (CE), le chlorure (Cl), et la température) traduit la contamination chimique.

Ces hypothèses s'expliquent par les corrélations existantes entre les paramètres physico-chimiques et microbiologiques. La corrélation entre le pH, la turbidité, le TA et les SF suggère que la basicité de l'eau augmente avec la turbidité, ce qui peut expliquer la sédimentation. Certains composés tels que les carbonates, les bicarbonates et les déchets animaux ont tendance à précipiter et à former des particules solides au fond de l'eau. Les déchets animaux peuvent également être contenus dans le sédiment.

La corrélation entre la conductivité, la turbidité et les SF suggère que la minéralisation de l'eau dépend également des niveaux de pollution. Il est possible que cela soit dû aux phases colloïdales ioniques permettant aux bactéries de survivre aussi longtemps que possible. Ainsi, une corrélation forte a été observée entre les SF et la turbidité ($r = 0,906$). En d'autres termes, lorsque la turbidité de l'eau augmente, la concentration de streptocoques fécaux a tendance à augmenter de manière proportionnelle et vice versa. Les SF pourraient adhérer aux particules solides en suspension dans l'eau.

5. CONCLUSION

L'étude de quelques caractéristiques des eaux de pluie stockées dans une cuve en béton a été réalisée à Ivory Avaratra. Le but de ce travail est d'évaluer les problèmes environnementaux et les risques sanitaires associés à leurs utilisations. Les résultats de cette étude indiquent que les eaux de pluie dans les cuves sont polluées par l'environnement et induit des risques potentiels à la santé. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques ont révélé la basicité de l'eau dont sa valeur moyenne pour les trois stations est de 8,41, leur température moyenne est de 19,47°C, leur conductivité est 43,33µS/Cm, leur niveau de chlorure est de 89,54mg/l, leur turbidité est de 4,94NTU, leur titre alcalimétrique est de 0,324 et leur concentration en streptocoque totaux est de 73ufc/100ml mais ces sites ne présentent aucuns coliformes

totaux. L'analyse multivarié a expliqué la corrélation entre ses paramètres ce qui a permis d'identifier les différentes contaminations dans l'eau. Au cours de ces analyses, des maladies hydriques tels que diarrhées, pneumonie peuvent se présenter si l'eau est consommée sans traitement préalable.

Reconnaissance : Cette étude a été réalisé avec l'aide du Laboratoire d'analyse de la faculté des sciences Fianaranstoa et CNRE Antananarivo et l'équipe de Madame Sedravola Nasolo RANDIMBIARISON dans la réalisation de la cartographie. Nos remerciements s'adressent spécialement à Pr Bruno RAZANAPARANY et Jean Claude Richard RAKOTOZAFY pour leur soutien et accompagnement durant la réalisation de ce travail.

6.REFERENCE

1. Flavien DE, Mathieu HB, Gédéon SW, Constant A, Farida H, Daouda M. Quality evaluation of rainwater stored in tanks for consumption in the municipality of Toffo: a case study of the Damè district. *J Appl Biosci*. 2020 Oct 31; pp. 15871-15880. Available at: <https://doi.org/10.35759/JABs.154.4>
2. Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA). Projet d'Elaboration du Schéma Directeur pour le Développement de l'Axe Economique TaToM. Madagascar: Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Habitat et des Travaux Publics (MAHTP) Gouvernement de la République de Madagascar. Oriental Consultants Global Co., Ltd. CTI Engineering International Co., Ltd. CTI Engineering Co., Ltd. 19-103 JR EI Texte Principal: Volume 1 ; Rapport Final Octobre 2019 . Consulté le juillet 2023. Available at: https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12340758_01.pdf
3. Vialle, C. Etude du comportement hydraulique, physico-chimique et microbiologique d'un système de récupération d'eaux de toiture. Evaluation de l'empreinte environnementale. Toulouse: Université de toulouse; 2011. Consulté le juillet 2023. sur <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001664/>
4. OMS. Combattre les maladies véhiculées par l'eau à la maison. Genève: Suisse: Organisation Mondiale de la Santé; 2005.
5. Vissin W, Aimadé Hs, Dougnon Ld, Sohounou M, Atiye Ey, Atchade GA. Water quality and waterborne diseases in the municipality of Toffo (Benin, West Africa). *J Appl Biosci*. 2016;106:10300–10308. Available at: <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v106i1.10>
6. Maïga-Yaleu S., HammaYacouba, et Guiguemde I. Hydrochimie des eaux de pluie et de ruissellement en région Sahélienne Hydrochemistry of rainwater and runoff in Sahel region. *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie* . 2016. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/326804277>
7. Rodier J., Legube B., Merlet N. et Coll. L'analyse de l'eau. 9ème ed. Paris: Dunod ; 2009.
8. Yujie Q., Bernard d. G., Mohamed S., et Bruno T. Étude de l'évolution de la qualité de l'eau de ruissellement de toiture au cours des événements pluviaux. *Techniques Sciences Méthodes*. 2019; 113-128. Available at: <https://doi.org/10.36904/tsm/201912113>
9. Deffontis S., Breton A., Vialle C., Montrejeud-Vignoles M., Vignoles C., Et Sablayrolles C. Caractérisation de la pollution des eaux de temps de pluie et de temps sec issues du réseau pluvial séparatif de la ville de Toulouse. *Techniques Sciences Méthodes*. 2013; 68-78. Available at: <https://doi.org/10.1051/tsm/201306068>
10. ounsinou P, Mama D, Dovoouou F, Alasane A. Seasonal dynamics of microbiological quality in natural waters in the Abomey-Calavi township, South Benin. *Br J Earth Sci Res*. 2015;3(11):30-41. Available at: <https://www.eajournals.org/wp-content/uploads/Seasonal-Evolution-of-the-Quality-Microbiological-of-the-Natural-Waters-in-the-Township-of-Abomey-Calavi-South-Benin.pdf>. Accessed September 12, 2023.
11. Collins R. et Rutherford K. Modelling bacterial water quality in streams draining pastoral land. *Water Research*.2004; 700-712. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2003.10.045>
12. Nguyen-Deroche T., De Gouvello B., Lucas F., Garrec N., Et Gromaire M.-C. Evaluation de la qualité de l'eau de pluie en vue de son utilisation : vers la définition de paramètres pertinents et de protocoles adaptés. *ASEES*. 2013;1-12. Available at: <http://dx.doi.org/10.1051/wqual/2013015>



How to cite this article: **Andry Harinaina, Rabearisoa, Ravo Victoire, Nasolomampionona, Bertrand, Manjolongo, Bruno, Razanamparany, Nasolo Sedravola, Randimbiarison, Miharisoa Anasthasie, Jibo, Tolojanahary Sandra, Fidiarilanto et Hajandrany Rabearisoa.** ÉVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIÉS À LA QUALITÉ DE L'EAU DE PLUIE STOCKÉE DANS UNE CITERNE EN BETON : ÉTUDE DE CAS À IVORY AVARATRA, FIANARANTSOA, MADAGASCAR. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023;17(4): 233-240. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8416718>

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