

# ÉTUDE APPROFONDIE DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE PAR LE SULFATE D'ALUMINE ET LA CHAUX VIVE DANS LES EAUX DU LAC TSIANDRAZANDOHA, AMBOSITRA, MADAGASCAR : CARACTERISATION ET CONTROLE



IN-DEPTH STUDY OF CHEMICAL CONTAMINATION BY ALUMINUM SULFATE AND QUICKLIME IN THE WATERS OF LAKE TSIANDRAZANDOHA, AMBOSITRA, MADAGASCAR: CHARACTERIZATION AND CONTROL

| Andry Harinaina, Rabearisoa <sup>1\*</sup> | Bertrand, Manjolongo <sup>1</sup> | et | Ravo Victoire, Nasolomampionona <sup>1</sup> |

<sup>1</sup> Université de Fianarantsoa | Sciences et technologies | Fianarantsoa | Madagascar |

DOI: 10.5281/zenodo.10247271 | Received October 25, 2023 | Accepted November 28, 2023 | Published December 02, 2023 | ID Article | Andry-Ref1-5-17ajiras251123 |

## RESUME

**Introduction :** Le lac Tsiandrazandoha est exposé à des risques de pollution (utilisation d'engrais, rejets domestiques) susceptibles d'altérer la qualité de ses eaux. **Objectifs :** Evaluer la qualité physico-chimique du lac et éliminer des contaminants (ammonium, nitrites, nitrates, phosphates) par essais de coagulation/floculation au sulfate d'aluminium et à la chaux. **Méthodes :** Vingt échantillons d'eau ont été prélevés au point de captage d'eau de la JIRAMA à TSIANDRAZANDOHA, et divers paramètres tels que la température, le pH, la conductivité électrique, la turbidité, le titre alcalimétrique complet, le sulfate, le magnésium, le calcium, le fer total, l'ammonium, le nitrite, le nitrate, le phosphate, et les matières organiques ont été analysés pour les eaux brutes. Ces échantillons ont ensuite été soumis à l'essai Jar-test avec une agitation rapide à 100 tours par minute pendant 2 minutes et une agitation lente à 40 tours par minute pendant 20 minutes. L'efficacité du traitement a été mesurée par le taux d'abatement de l'ammonium, du nitrite, du nitrate et du phosphate, ainsi que par la capacité des coagulants à neutraliser l'acidité de l'eau. **Résultats** Les résultats d'analyse révèlent des contaminations chimiques, notamment des niveaux élevés de fer total (1,14±0,55 mg/L), d'ammonium (0,52±0,26 mg/L), de nitrite (0,29±0,076 mg/L avec un maximum de 0,4 mg/L), de nitrate (9,47±3,27 mg/L), de phosphate (3,33±1,24 mg/L) et de matières organiques (3,75±1,33 mg/L), démontrant une acidité avec un pH moyen de 5 pour la plupart des échantillons. Selon les paramètres testés, les doses optimales de sulfate d'aluminium (12 mg/L) et de chaux vive (7 mg/L) ont permis des taux d'abatement respectifs de 99%, 100%, 98%, et 96% pour l'ammonium, le nitrite, le nitrate, et le phosphate. L'ajout de chaux vive a neutralisé l'acidité de l'eau, la rendant ainsi propre à la consommation humaine. **Conclusion :** Le traitement par coagulation/floculation a nettement amélioré la qualité de cette eau de consommation en éliminant les contaminants chimiques.

**Mots clés :** coagulation-floculation, physico-chimique, lac TSIANDRAZANDOHA, contrôle chimique, essai de jar-test

## ABSTRACT

**Introduction:** Lake TSIANDRAZANDOHA is exposed to pollution risks associated with surrounding activities, such as the use of chemical fertilizers in agricultural lands, potentially transporting contaminants into the lake through the soil, as well as domestic discharges. **Objectives:** This study aims to assess the physico-chemical quality of the lake and eliminate chemical contaminants such as ammonium, nitrite, nitrate, and phosphate through Jar-test experiments using aluminum sulfate and quicklime as coagulants and neutralizers. **Methods:** Twenty water samples were collected from the JIRAMA water intake point in TSIANDRAZANDOHA, and various parameters such as temperature, pH, electrical conductivity, turbidity, complete alkalimetric titre, sulfate, magnesium, calcium, total iron, ammonium, nitrite, nitrate, phosphate, and organic matter were analyzed for raw water. These samples were then subjected to Jar-test with rapid agitation at 100 revolutions per minute for 2 minutes and slow agitation at 40 revolutions per minute for 20 minutes. The treatment's efficiency was measured by the reduction rates of ammonium, nitrite, nitrate, and phosphate, as well as the coagulants' capacity to neutralize water acidity. **Results:** The analysis results reveal chemical contaminations, including elevated levels of total iron (1.14±0.55 mg/L), ammonium (0.52±0.26 mg/L), nitrite (0.29±0.076 mg/L with a maximum of 0.4 mg/L), nitrate (9.47±3.27 mg/L), phosphate (3.33±1.24 mg/L), and organic matter (3.75±1.33 mg/L), demonstrating acidity with pH = 5 for most samples. According to the tested parameters, optimal doses of aluminum sulfate (12 mg/L) and quicklime (7 mg/L) resulted in reduction rates of 99%, 100%, 98%, and 96% for ammonium, nitrite, nitrate, and phosphate, respectively. The addition of quicklime neutralized water acidity, making it suitable for human consumption. **Conclusion:** In conclusion, after controlling chemical contamination, the quality of water intended for consumption has been improved, demonstrating the effectiveness of the treatment.

**Keywords:** coagulation-flocculation, physico-chemical, Lake TSIANDRAZANDOHA, chemical control, Jar-test experiment.

## 1. INTRODUCTION

La JIRAMA d'Ambositra exploite le lac TSIANDRAZANDOHA comme source d'approvisionnement pour le traitement de l'eau potable destinée à la distribution aux habitants du village. De même, les résidents de la commune d'Ankazoambo ont la possibilité d'utiliser cette ressource pour l'irrigation de leurs terres agricoles. Malheureusement, le lac est aujourd'hui menacé par la pollution environnementale, notamment le rejet d'eaux usées domestiques, industrielles et agricoles dans le milieu naturel sans traitement préalable, le changement climatique, la minéralisation, les activités

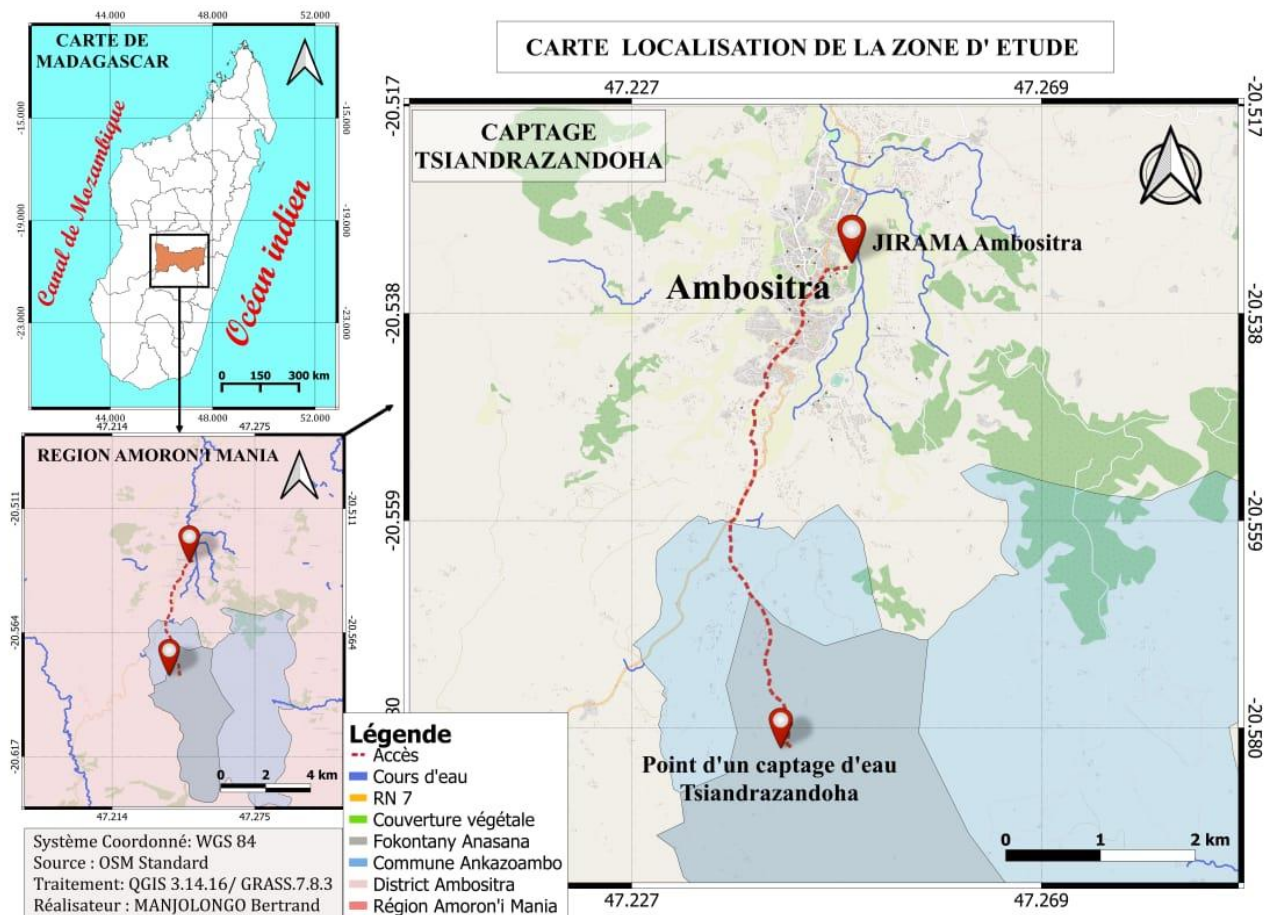
récréatives et les pluies acides [1, 2]. Les contaminants de surface provenant des engrais peuvent pénétrer dans le sol jusqu'à la nappe phréatique et atteindre le lac [3] ou emporter par des débris animaux ou végétaux due à l'érosion du sol pendant la période pluvieuse [4]. Le risque de contamination dépend ainsi du type et de la concentration du contaminant. Cette ressource en eau est donc confrontée à des problèmes de qualité quelle que soit sa quantité qui pourrait présenter des dangers potentiels pour la santé humaine.

Afin de rendre les eaux du lac consommable par les habitants de la commune d'Ambositra, des processus coagulation-floculations sont utilisés par la JIRAMA dans les étapes de traitement de l'eau. Ces processus, s'appelant le Jar-test initialement dans les essais de laboratoire, s'agissent d'un traitement de clarification d'une eau quelconque qui consiste à lui ajouter un agent coagulant et ou un agent floculant de façon à obtenir des agrégats décantables à partir des matières en suspension ou des éléments minéraux ou organiques dissous [5]. Durant le processus, l'utilisation des agents sulfate d'alumine et chaux vive permet un traitement efficace pour éliminer les éléments chimiques indésirables provenant des effluents domestiques, agricoles et industriels due aux activités anthropiques. Plusieurs études ont montré que ces produits sont destinés aux traitements des eaux usées, d'effluents industriels, des eaux de surface et de baignade et puis qui respectent la norme NF EN ISO 7027-2 [5, 6, 7]. L'efficacité de cette étape de traitement est liée au pH, au type et au dosage du coagulant ainsi qu'à la nature des particules et des matrices minérales et organiques [5, 8]. Donc, l'injection et la dispersion de ces produits chimiques dans l'eau favorise l'agglomération des contaminants. Cette étude a pour objectif d'une part d'apporter une évaluation sur la qualité physico-chimique de l'eau du lac afin de rendre l'eau consommable par la population, et d'autre part la mise en évidence de l'efficacité de sulfate d'alumine et de la chaux vive d'éliminer les polluants chimiques tels les ammoniums, les nitrates, les nitrites, les phosphates totaux.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.2 Zone d'étude

La commune rurale d'Ankazoambo est située entre les longitudes Est 47.227 et 47.269, et les latitudes Sud -20.58 et -20.55, à 9 km de la commune urbaine d'Ambositra dans la région Amoron'i Mania, sur les hauts plateaux de Madagascar [9]. Dans cette commune se trouve le lac TSIANDRAZANDOHA, et un réseau d'eau de la JIRAMA (Compagnie d'eau Nationale) est en place pour puiser l'eau du lac et la distribuer dans la commune d'Ambositra [10]. La consommation d'eau dans le milieu rural est assurée par un système d'adduction d'eau potable. Seule la commune urbaine d'Ambositra bénéficie de la distribution d'eau potable par la JIRAMA [11]. Ce lac est exposé à des risques de pollution environnementale en raison de son utilisation par les habitants environnants pour le lavage du linge, l'irrigation des terres agricoles situées à environ 5 mètres, et certaines personnes lavent également des cuillères et des marmites au bord du lac.



**Figure 1 : Cartographie de la zone de captage TSIANDRAZANDOHA.**

### 2.3 Echantillonnage de l'eau

Pendant la campagne d'échantillonnage, 20 prélèvements d'eau du lac TSIANDRAZANDOHA ont été réalisés au niveau du pont de captage d'eau de la JIRAMA sur une période de 10 jours, au cours du mois de juin 2023, au niveau de l'entrée d'eau du barrage de la JIRAMA. La collecte des échantillons d'eau brute a eu lieu quotidiennement à 8 heures du matin. À cet effet, des bouteilles en plastique polyéthylène d'une capacité d'un litre ont été utilisées pour recueillir les échantillons. Elles ont été préalablement rincées trois fois à l'eau du robinet, puis quatre fois avec l'échantillon d'eau du lac avant le prélèvement. Les échantillons ont été étiquetés, conservés et transportés dans une glacière à une température de 6 °C, à l'abri de la lumière et des bactéries. À leur arrivée au laboratoire, ces échantillons ont été stockés au réfrigérateur à 4 °C jusqu'à leur analyse. Après le traitement de l'eau brute, les eaux traitées pendant les essais de Jar-test ont été directement analysées dans le laboratoire afin de comparer les valeurs obtenues avant et après le traitement.

### 2.3 Analyse physico-chimique de l'eau

Des analyses physico-chimiques ont été conduites quotidiennement sur des échantillons d'eau prélevés afin d'évaluer l'efficacité du processus de coagulation-floculation par sulfate d'alumine et chaux vive. Ces analyses visaient à déterminer la présence de substances chimiques dans l'eau, provenant d'activités humaines ou de phénomènes naturels, susceptibles d'avoir des implications néfastes pour la santé humaine. Les résultats obtenus ont été comparés à la norme de potabilité des eaux de consommation à Madagascar, établie par le décret n°2004-635 du 15 juin 2004 [12].

Pendant la campagne d'échantillonnage, des analyses physico-chimiques de l'eau du lac TSIANDRAZANDOHA ont été réalisées in situ, en suivant les méthodes décrites par Jean (2009) [13]. Les analyses ont porté sur les paramètres suivants : température, pH et conductivité électrique (CE).

Les paramètres tels que la turbidité, le titre d'alcalimétrie (TA) et le titre d'alcalimétrie complet (TAC), le sulfate ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), le magnésium (Mg), le calcium (Ca), le fer total, l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), le phosphate total ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), le nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) et le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) ont été mesurés in vitro.

Pour déterminer la teneur en fer total, une petite quantité de dithionite de sodium a été ajoutée à 100 ml d'eau à analyser. Le mélange a ensuite été agité pendant 2 minutes par un agitateur magnétique pour dissoudre complètement

le réactif, en ajoutant simultanément 2 ml de diméthylglyoxime à 5 % et 16 à 20 gouttes d'ammoniaque à 10 %. Le mélange a été laissé reposer pendant 2 minutes. Après avoir soigneusement rincé les cuvettes, une cuvette a été remplie du mélange et l'autre d'eau colorée jusqu'au trait B. Les cuvettes ont été placées sur le comparateur, l'eau colorée du côté droit et l'eau à analyser de l'autre côté. La teneur en fer a été lue en comparant les deux solutions avec les plaques d'étalons.

Pour le TA et le TAC, deux gouttes de solution alcoolique de phénolphtaléine ont été ajoutées à 100 ml d'eau. Lorsque la solution a viré au rose (pH inférieur à 8,3), de l'acide sulfurique de concentration N/5 a été ajouté goutte à goutte jusqu'à ce qu'elle redevienne incolore (pH = 8,3). Si la solution est restée incolore (pH = 8,3), deux gouttes de solution d'hélianthine ont été ajoutées, et l'acide sulfurique a été à nouveau ajouté jusqu'à ce qu'elle vire au rouge (pH = 4,5).

Expression des résultats

$$TA = \frac{V}{5} \quad (1) \quad \text{et} \quad TAC = \frac{V'}{5} \quad (2)$$

Les équations (1) et (2) expriment respectivement le titre alcalimétrique (TA) et le titre alcalimétrie complet (TAC) 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) ;

**V'** : exprime le titre alcalimétrie complet en degré français (1° f correspond à 12,4 mg de carbonate de calcium ou à 0,24 mEq/L) ;

**5** : correspond à la dilution de la concentration N de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) par un facteur 5.

$$TH \text{ (mg/L en } CaCO_3) = V1 \times EDTA \quad (3)$$

$$THCa \text{ (mg/L en } CaCO_3) = V2 \times EDTA \quad (4)$$

$$THMg \text{ (mg/L en } CaCO_3) = TH - THCa \quad (5)$$

**V1 et V2** : volumes de l'EDTA utilisés ;

**EDTA** : concentration de la solution de l'EDTA exprimée en millimoles par litre ;

La concentration de calcium et celle de magnésium ont été calculées respectivement à partir de la dureté calcique (THCa) (équation 5) et de la dureté magnésium (THMg) (équation 6) selon les formules suivantes :

$$1^\circ f \text{ de } THCa = 4 \text{ mg/L de } [Ca] \quad (5)$$

$$1^\circ f \text{ de } THMg = 2,4 \text{ mg/L de } [Mg] \quad (6)$$

Les concentrations en chlorures a été déterminée par la méthode de Mohr décrit dans le protocole de Jean (2009) [13] et celle du sulfate a été trouvé grâce à la méthode gravimétrique [13]. La détermination de la teneur en phosphate totale a été réalisée selon la méthode de dosage spectrométrique à l'aide du molybdate d'ammonium décrite par la norme ISO 6878 :1998 [14]. Pour déterminer la teneur en matières organiques, on a prélevé 100 ml d'eau, puis on a ajouté 5 ml de NaHCO<sub>3</sub> et 10 ml de KMnO<sub>4</sub>. On a chauffé le mélange pendant 10 à 15 minutes sur un appareil de chauffage. On a ensuite ajouté 5 ml d'H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> et 10 ml de sel de Mohr au mélange. On a titré le mélange avec KMnO<sub>4</sub> jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante. Le volume de KMnO<sub>4</sub> utilisé a été relevé à ce point.

Expression des résultats :  $MO \text{ (mg/L)} = \text{Volume}(KMnO_4) - \text{Blanc} \quad (8)$

Blanc : volume de KMnO<sub>4</sub> versé pour ce dosage (affichée sur la bouteille).

Les paramètres tels que l'ammonium, le nitrite et le nitrate ont été évalués à l'aide d'un spectrophotomètre ultraviolet de référence LU-1810D, en suivant les protocoles suivants :

Pour l'ammonium, 25 ml d'eau à analyser (eau brute ou eau traitée) ont été prélevés dans un bécher, auxquels ont été ajoutés 20 ml de trisodium citrate et 5 ml d'eau de Javel. De ce mélange, 2,5 mL ont été prélevés, puis mélangés à 1 mL de phénol et 1 mL de nitroprussite. En ce qui concerne le nitrite, qui s'oxyde facilement en nitrate, il a été déterminé en ajoutant une goutte d'acide phosphorique et 1 mL de réactif coloré à 50 mL d'eau à analyser. Le nitrate a été quantifié en utilisant l'équation 9 :

$$NO_3^- = (Nat - Nit) \times 4,443 \quad (9)$$

Où :

**Nat** : représente la valeur obtenue à l'écran du spectrophotomètre, **Nit** : est la valeur du nitrite, **NO<sub>3</sub><sup>-</sup>** : est la teneur en nitrate.

La concentration en Na<sup>+</sup> a été mesurée par spectrophotométrie UV en mélangeant 50 mL d'eau avec une goutte de NaOH et 1,25 mL de tampon concentré. La moitié de ce mélange a été utilisée comme blanc dans l'appareil, tandis que le reste a été additionné de 1 mL de réactif coloré.

## 2.4 Traitement de l'eau



Au cours du processus coagulation-floculation, les eaux brutes ont été neutralisées à l'aide de chaux vive. Afin d'évaluer l'efficacité des coagulants (sulfate d'alumine et chaux vive) sur l'ensemble des échantillons d'eau, des essais de Jar-test ont été réalisés au laboratoire de chimie de la JIRAMA Ambositra, utilisant un floculateur ORCHIDIS équipé de six béchers ronds de 1000 mL chacun. Une hélice a été immergée dans chaque bécher rempli d'eau à analyser jusqu'au repère des 1000 mL. Le sulfate d'alumine a été injecté dans le mélange pour favoriser l'agglomération des précipités.

Pour chaque essai de Jar-test de Vittadini, l'eau a été agitée rapidement à 100 tr/min pendant 2 minutes. La vitesse d'agitation a ensuite été réduite à 40 tr/min pendant environ 20 minutes pour permettre la floculation des particules. Après l'arrêt de l'agitation, l'eau a été décantée pendant 30 minutes à une température de 20 °C. Enfin, 0,5 mL de surnageant a été prélevé dans chaque échantillon en vue de différentes analyses. Par la suite, les effluents décantés ont été soigneusement filtrés à l'aide de fioles équipées de papier filtre afin d'éviter tout passage de floc dans l'eau destinée à l'analyse. L'efficacité du traitement a été évaluée par le taux de réduction du nitrate, du nitrite, de l'ammonium et du phosphate dans les échantillons. Le calcul du taux d'achèvement de ces paramètres, exprimé en pourcentage, est basé sur l'équation 9 selon la méthode explorée par A. Hamdani et al., [15].

$$\% \text{ach\`evement} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (9)$$

Pour chaque paramètre à analyser,  $C_i$  désigne la concentration avant traitement de l'eau brute et  $C_f$  est la concentration après traitement.

## 2.5 Analyse statistique

Une analyse en composante principale a été réalisée sur une matrice de données regroupant les valeurs moyennes, minimales et maximales des différents paramètres physico-chimiques pour chaque point de mesure du lac. Ensuite, une analyse factorielle des correspondances simples a été effectuée pour ces paramètres. Cette analyse a permis d'identifier les corrélations des différents contaminants chimiques présents dans l'eau.

Le logiciel R version 4.3.2 a été utilisé pour ces analyses.

## 3. RESULTATS

### 3.1 Paramètres physico-chimiques de l'eau brute

Il est impératif d'évaluer la qualité de l'eau du lac TSIANDRAZANDOHA avant d'entreprendre son traitement afin de prendre en considération les divers contaminants présents et d'apprécier l'efficacité des méthodes de traitement. Les caractéristiques physico-chimiques mesurées sont récapitulées dans le tableau 1.

Les résultats indiquent que la température de l'eau varie entre 20 et 24 °C, avec une valeur moyenne de  $21,83 \pm 1,22$  °C, conforme aux normes Malagasy. Le pH de l'eau fluctue entre 5 et 7, avec une valeur moyenne de  $6,14 \pm 0,68$ , révélant un caractère acide car certaines valeurs de pH sont en deçà de la norme (<6,5).

L'eau captée par la JIRAMA présente une faible minéralisation par rapport à la norme établie (<3000  $\mu\text{S/cm}$ ), avec une conductivité électrique oscillant entre 25 et 40  $\mu\text{S/cm}$  et une valeur moyenne de  $33 \pm 5,35$   $\mu\text{S/cm}$ . L'eau est trouble en raison de la présence de matières en suspension, avec une turbidité moyenne de  $14,4 \pm 3,2$  NTU, variant entre 10 et 25 NTU. Le TAC de l'eau varie entre 3 et 20 °f, avec une valeur moyenne de  $10,58 \pm 5,28$  °f.

Les niveaux de sulfate, provenant de différentes sources, sont faibles par rapport aux normes établies par la JIRAMA (<250 mg/L), variant considérablement entre 4 et 15 mg/L. L'eau est peu dure, avec des faibles teneurs en magnésium ( $7,49 \pm 1,98$  mg/L) et en calcium ( $6,59 \pm 1,04$  mg/L), respectivement entre 3 et 10 mg/L et entre 5 et 8,1 mg/L.

Le fer total oscille entre 0,5 et 2 mg/L, avec une valeur moyenne de  $1,14 \pm 0,55$  mg/L, en dessous de la norme Malagasy (0,5 mg/L). L'eau présente des pollutions chimiques en ammonium, en nitrite, en nitrate et en phosphate provenant des rejets industriels, avec des valeurs moyennes respectives de  $0,52 \pm 0,26$  mg/L,  $0,29 \pm 0,076$  mg/L,  $9,47 \pm 3,27$  mg/L et  $3,33 \pm 1,24$  mg/L. La concentration en ion sodium varie entre 2,3 et 5 mg/L, avec une valeur moyenne de  $3,72 \pm 0,96$  mg/L, tandis que le chlorure présente une valeur minimale et maximale respective de 4 et 10 mg/L, avec une moyenne de  $7,08 \pm 2$  mg/L. Enfin, les matières organiques oscillent entre 2,4 et 6 mg/L, avec une valeur moyenne de  $3,75 \pm 1,33$  mg/L.

**Tableau 1** : Résultats des paramètres physico-chimiques de l'eau brute.

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Norme Malagasy
T (°C)	20	24	$21,83 \pm 1,22$	<25
pH	5	7	$6,14 \pm 0,68$	6,5-9
CE ( $\mu\text{S/cm}$ )	25	40	$33 \pm 5,35$	<3000
Turbidité (NTU)	10	20	$14,4 \pm 3,2$	<5
TAC (°f)	3	20	$10,58 \pm 5,28$	-
Sulfate (mg/L)	4	15	$9,33 \pm 3,96$	250
Magnésium (mg/L)	3	10	$7,49 \pm 1,98$	50
Calcium (mg/L)	5	8,1	$6,59 \pm 1,04$	200

<b>Fer total (mg/L)</b>	0.5	2	1.14±0.55	0.5
<b>Ammonium (mg/L)</b>	0.04	0.8	0.52±0.26	0.5
<b>Nitrite (mg/L)</b>	0.08	0.4	0.29±0.076	0.1
<b>Nitrate (mg/L)</b>	5	15	9.47±3.27	50
<b>Phosphate (mg/L)</b>	1.2	5	3.33±1.24	5
<b>Sodium (mg/L)</b>	2.3	5	3.72±0.96	-
<b>Chlorure (mg/L)</b>	4	10	7.08±2	250
<b>MO (mg/L)</b>	2.4	6	3.75±1.33	2

### 3.2 Analyse en composante principale

L'intégration d'une étude statistique dans l'évaluation de la qualité de l'eau revêt une importance cruciale pour interpréter de manière robuste l'évolution des valeurs des paramètres physiques et chimiques de l'eau brute, ainsi que pour identifier les tendances significatives. Le tableau 2 et la figure 1 présentent les résultats de la matrice de corrélation des différents paramètres et de l'analyse en composante principale. Ces résultats indiquent des associations significatives entre les paramètres mesurés dans l'eau du lac TSIANDRAZANDOHA.

Le cercle de corrélation, illustrant deux dimensions dans le plan factoriel F1 x F2, révèle que la première dimension (dim 1) contribue à hauteur de 37,25%, tandis que la deuxième dimension (dim 2) représente 28,05% de la variance totale. En combinant ces deux dimensions, le cercle de corrélation rend compte de 65,3% de la proportion de variance significative expliquée par les deux composantes principales, mettant en évidence l'importance des relations entre les paramètres d'études.

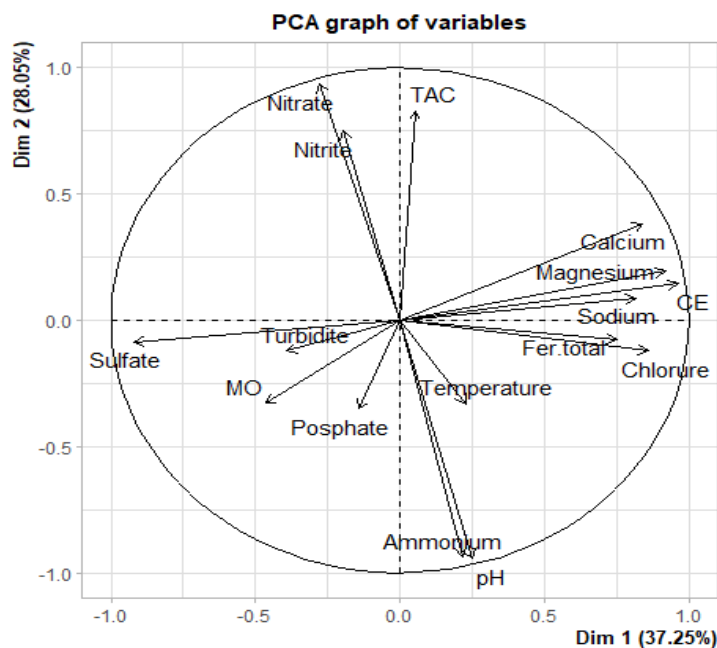
La première composante est positivement corrélée avec la conductivité électrique (CE), le sodium (Na<sup>+</sup>), le chlorure (Cl<sup>-</sup>), le fer total, le magnésium (Mg<sup>2+</sup>) et le calcium (Ca<sup>2+</sup>), et négativement corrélée avec le sulfate (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), la turbidité (turb) et la matière organique (MO). Cela suggère une corrélation entre ces paramètres, révélant comment ils varient simultanément, comme le met en évidence la matrice de corrélation. La conductivité électrique (CE) est fortement corrélée avec le sulfate (r = -0,91), le magnésium (r = 0,92), le calcium (r = 0,85), le fer total (r = 0,65), le sodium (r = 0,76), le chlorure (r = 0,76) et la matière organique (MO) (r = -0,56). Des corrélations importantes sont également observées entre d'autres paires de paramètres, comme la turbidité et la MO (r = 0,87), le sulfate et le magnésium (r = -0,85), le sulfate et le calcium (r = -0,85), le sulfate et fer total (r = -0,65), le sulfate et sodium (r = -0,73), sulfate et chlorure (r = -0,84), magnésium et fer total (r = 0,62), magnésium et sodium (r = 0,79), calcium et fer total (r = 0,55), calcium et sodium (r = 0,71), calcium et chlorure (r = 0,66), fer et sodium (r = 0,54), fer et chlorure (r = 0,59).

La deuxième composante est corrélée positivement avec le TAC (titre alcalimétrique complet), le nitrite et le nitrate, et négativement avec le pH, l'ammonium et le phosphate. Cette composante saisit une autre facette des relations entre ces paramètres, comme l'explique la matrice de corrélation : pH/ammonium (r = 0,98), pH/nitrite (r = -0,71), pH/nitrate (r = -0,98), TAC/ammonium (r = -0,78), TAC/nitrate (r = 0,77), ammonium/nitrite (r = -0,66), ammonium/nitrate (r = 0,96), ammonium/phosphate (r = 0,89), nitrite/nitrate (r = 0,71). Ainsi, la première composante principale suggère une corrélation entre la conductivité électrique (CE) et divers ions, tandis que la deuxième composante met en évidence des relations entre le TAC, les nitrites, les nitrates, le pH et l'ammonium.

**Tableau 2 :** Matrice de corrélation des paramètres d'analyse

	T°	pH	CE	Turb	TAC	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Fer	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	MO
<b>T°</b>	1															
<b>pH</b>	0.28	1														
<b>CE</b>	0.11	0.11	1													
<b>Turb</b>	0.08	-0.08	-0.46	1												
<b>TAC</b>	-0.22	-0.78	0.12	0.04	1											
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	-0.17	-0.1	<b>-0.91</b>	0.21	-0.13	1										
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	0.13	0.02	<b>0.92</b>	-0.32	0.17	<b>-0.85</b>	1									
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	0.02	-0.16	<b>0.85</b>	-0.27	<b>0.44</b>	<b>-0.85</b>	0.814	1								
<b>Fer</b>	0.28	0.25	<b>0.65</b>	-0.21	-0.07	<b>-0.65</b>	<b>0.62</b>	<b>0.55</b>	1							
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	0.26	<b>0.98</b>	0.09	-0.08	<b>-0.78</b>	-0.09	0.03	-0.18	0.17	1						
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	-0.27	<b>-0.71</b>	-0.06	-0.07	0.42	0.09	0.01	0.02	-0.24	<b>-0.66</b>	1					
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0.30	<b>-0.98</b>	-0.12	0.08	<b>0.77</b>	0.15	-0.05	0.13	-0.25	<b>0.96</b>	<b>0.71</b>	1				
<b>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	-0.07	0.23	-0.16	0.29	-0.04	0.15	-0.18	-0.09	-0.42	<b>0.89</b>	-0.36	-0.24	1			
<b>Na<sup>+</sup></b>	0.18	0.11	<b>0.76</b>	-0.03	0.27	<b>-0.73</b>	<b>0.79</b>	<b>0.71</b>	<b>0.54</b>	0.09	-0.11	-0.14	0.02	1		
<b>Cl<sup>-</sup></b>	0.21	0.29	<b>0.76</b>	-0.14	-0.02	<b>-0.84</b>	0.80	<b>0.66</b>	<b>0.59</b>	0.26	-0.21	-0.35	0.04	<b>0.72</b>	1	
<b>MO</b>	0.09	0.10	<b>-0.56</b>	<b>0.87</b>	-0.16	0.30	-0.40	-0.46	-0.19	0.12	-0.17	-0.08	0.37	-0.24	-0.14	1

T° : température ; CE : conductivité électrique, TAC : titre alcalimétrique complet ; MO : matières organiques ; turb : turbidité



**Figure 2 :** Analyse en composante principale des résultats physico-chimique de l'eau brute.

### 3.3 Traitement par coagulation-floculation

La coagulation et la floculation sont des procédures largement utilisées dans le traitement de l'eau pour éliminer les particules en suspension et autres impuretés telles que l'ammonium, les nitrites, les nitrates et les phosphates. Le sulfate d'aluminium et la chaux vive ont été utilisés comme coagulants et floculants dans ce processus.

#### 3.3.1 Traitement par sulfate d'alumine

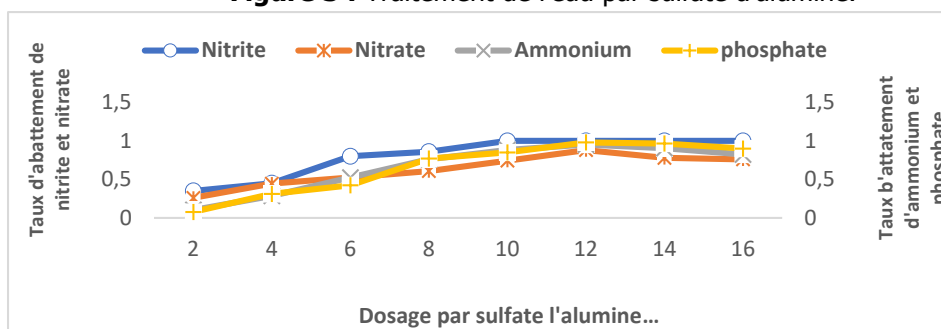
Le processus de traitement de l'eau consiste à introduire des agents coagulants, tels que le sulfate d'alumine, dans une série de récipients. Les agents sont ajoutés à doses croissantes, comme indiqué dans le tableau 3. Ces flacons sont ensuite agités à une vitesse rapide de 100 tours par minute pendant 2 minutes, suivie de 20 minutes à une vitesse plus lente de 40 tours par minute. Cette procédure garantit une distribution homogène des mélanges et assure une déstabilisation chimique efficace des colloïdes et autres éléments indésirables, tels que les nitrites, les nitrates, l'ammonium et le phosphate.

La figure 3 et le tableau 3 démontrent les taux d'achèvement de ces paramètres dans l'eau après le processus de coagulation. Les résultats indiquent que la dose de coagulation optimale pour éliminer 100 % de nitrite, 74,28 % de nitrate, 88,09 % d'ammonium et 85 % de phosphate dans 1 000 ml d'eau brute correspond à 10 mg/L de sulfate d'alumine.

**Tableau 3 :** Taux d'abattement des éléments indésirables par sulfate d'alumine.

Al2SO4	Nitrite	Nitrate	Ammonium	Phosphate
2	0.35	0.2593	0.1025	0.0769
4	0.45	0.4444	0.2857	0.3114
6	0.8	0.524	0.5238	0.4231
8	0.86	0.6079	0.7619	0.77
10	1	0.7428	0.8809	0.85
12	1	0.88	0.9523	0.98
14	1	0.78	0.9056	0.9654
16	1	0.76	0.8235	0.9

**Figure 3 : Traitement de l'eau par sulfate d'alumine.**



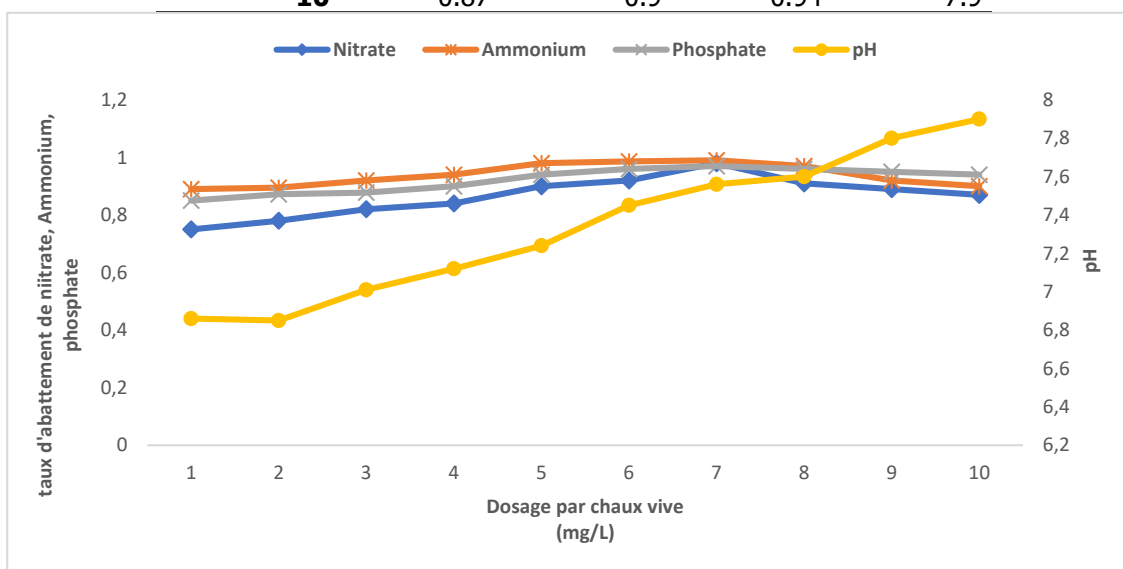
### 3.3.2 Traitement par chaux vive

L'agrégation des eaux du lac a été réalisée avec une dose de coagulant de 10 mg/L sur une plage de 0 à 10 mg/L de chaux vive. Les résultats de cette opération sont synthétisés dans le tableau 4 et illustrés dans la figure 4, mettant en évidence l'évolution de l'abatement de l'ammonium, des nitrates et des phosphates, ainsi que la variation du pH de l'eau traitée en fonction de la quantité de chaux vive. Ces données suggèrent que le taux d'élimination des éléments indésirables augmente proportionnellement aux doses de chaux vive jusqu'au niveau optimal de 7 mg/L. À ce stade, les taux d'élimination des nitrates, de l'ammonium et des phosphates atteignent respectivement 98 %, 99 % et 97 %.

En ce qui concerne le pH, il varie de 6,86 à 7,9, présentant une tendance basique qui demeure conforme aux normes de potabilité Malagasy. L'eau traitée tend vers la neutralité lors de l'ajout de chaux vive entre 2 et 4 mg/L. Le traitement de l'eau du lac TSIANDRAZANDOHA est très efficace pour éliminer les éléments indésirables.

**Tableau 4 : Taux d'abatement des éléments indésirables par chaux vive.**

Chaux vive	Nitrate	Ammonium	Phosphate	pH
1	0.75	0.89	0.85	6.86
2	0.78	0.895	0.872	6.85
3	0.82	0.92	0.878	7.01
4	0.84	0.94	0.9	7.12
5	0.9	0.98	0.94	7.24
6	0.92	0.986	0.96	7.45
7	0.98	0.99	0.97	7.56
8	0.91	0.97	0.96	7.6
9	0.89	0.92	0.95	7.8
10	0.87	0.9	0.94	7.9



**Figure 4 : Traitement de l'eau par chaux vive.**

## 4. DISCUSSION

### 4.1 Caractérisation des eaux brutes



La compilation des résultats sur les eaux brutes permet de déterminer la composition moyenne du lac TSIANDRAZANDOHA, dans le but de surveiller la contamination chimique provenant de diverses sources. Cette étude révèle que le lac est impacté par des contaminants chimiques issus de rejets domestiques et de déchets agricoles [16, 17]. Les concentrations moyennes de ces contaminants dépassent les normes Malagasy, avec des valeurs de 0,52 mg/L d'ammonium, 0,29 mg/L de nitrite, 9,47 mg/L de nitrate, 3,33 mg/L de phosphate et 3,75 mg/L de matières organiques. Ces constats indiquent clairement que l'eau n'est pas appropriée pour la consommation humaine. De plus, les eaux du lac présentent une acidité, comme le montrent certaines valeurs de pH situées en dehors de la plage définie par les normes de potabilité Malagasy (<6.5). En outre, la transparence est limitée, avec des niveaux élevés de turbidité (10 à 20 NTU) dépassant les normes établies. Les valeurs de la température (20 – 24°C), de la conductivité électrique (25 – 40 µS/cm), sulfate (4 - 15 mg/L), magnésium (3 - 10 mg/L), calcium (5 - 8,1 mg/L), sodium (2,3 - 5 mg/L), chlorure (4 - 10 mg/L), fer total (0,5 - 2 mg/L) sont comprises dans la gamme tolérable pour l'eau potable Malagasy et en accord avec ceux de Dumoûtier et al., et Mahamat et al., [18, 19].

L'analyse en composante principale mettant en évidence l'homogénéité des échantillons analysés a révélé que la corrélation de la deuxième composante avec le pH, l'ammonium, le nitrite, le nitrate, le TAC (titre alcalimétrique complet), et le phosphate pourrait indiquer fortement la présence de contaminants due aux activités anthropiques. La corrélation forte entre le pH et l'ammonium ( $r = 0,98$ ) peut s'expliquer par la prédominance de l'acide nitrique sur l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et la décomposition de la matière organique. Les corrélations entre le pH et le nitrite ( $r = -0,98$ ), le TAC et l'ammonium ( $r = -0,78$ ), le TAC et le nitrite ( $r = 0,77$ ), l'ammonium et le nitrate ( $r = 0,96$ ) concordent avec ces hypothèses car elles confirment la présence des acides nitriques et le cycle de l'azote comme la nitrification entre le nitrite et le nitrate et l'oxydation biologique des nitrates [13]. La corrélation observée entre l'ion phosphate et l'ammonium ( $r = 0,89$ ) peut suggérer la possibilité de la présence de phosphate d'ammonium, qui pourrait être exploité comme engrais dans les terres agricoles. Cette corrélation peut également être associée aux interactions complexes entre les cycles de l'azote et du phosphore.

## 4.2 Abatement des contaminants chimiques et efficacité du traitement

Les essais de coagulation et floculation ont permis de déterminer la dose optimale de sulfate d'aluminium et de chaux vive pour atteindre une réduction significative des éléments indésirables tels que le nitrite, le nitrate, l'ammonium et le phosphate, tout en neutralisant l'acidité de l'eau destinée à la consommation humaine. Plusieurs études antérieures, notamment celles de Marie Hanitriniaina et al. (2022), Kheliel et al., (2015), Mellah et al., (2022), Linda et al., (2014), ont exploré l'utilisation du sulfate d'aluminium et de la chaux vive comme agents coagulants dans le traitement des eaux naturelles et usées [20, 21, 22, 23].

Au cours de cette étude, les taux d'abattement trouvés pour ces éléments varient. Le taux d'abattement de l'ammonium varie de 10,25% à 88,23% pour des doses de sulfate d'aluminium allant de 2 à 12 mg/L. Ce taux continue d'augmenter jusqu'à atteindre 99% après l'ajout progressif de chaux vive, avec des doses de 1 à 10 mg/L. Ces résultats démontrent une réduction efficace de l'ammonium, avec des doses optimales respectives de 10 mg/L pour le sulfate d'aluminium et 7 mg/L pour la chaux vive. Ces observations sont cohérentes avec les travaux de Seghairi et al. (2017) et Etienne et al., (2011), qui ont montré que la coagulation au sulfate d'aluminium entraîne une diminution de la teneur en ammonium dans l'eau [5, 24]. De plus, Kheliel et al., (2015) ont rapporté que la coagulation au sulfate d'aluminium, suivie de l'adjonction de chaux vive, conduit à une augmentation de la basicité de l'eau. L'ajout conjoint de sulfate d'aluminium et de chaux vive augmente la basicité et le pH de l'eau, provoquant la formation d'un précipité gélatineux à un pH voisin de 9,5, favorisant l'élimination des particules colloïdales par sédimentation et contribuant ainsi à obtenir une eau plus claire [21]. L'association de ces deux substances favorise la formation d'un précipité qui élimine les impuretés en suspension. Dans l'ensemble, ce processus se révèle efficace pour neutraliser l'acidité et améliorer la clarté de l'eau.

Les résultats de l'étude indiquent également un succès significatif dans l'élimination des nitrites par coagulation au sulfate d'alumine, atteignant un taux d'abattement de 100% pour des doses de sulfate variant de 2 à 8 mg/L. L'ajout de chaux vive, bien que moins influent sur le traitement des nitrites, contribue néanmoins à la neutralisation de l'eau brute. Par ailleurs, l'évaluation du rendement d'élimination des nitrates en fonction de la dose de sulfate d'aluminium révèle une augmentation significative, passant de 25,93% à 88% avec l'augmentation de la dose de coagulant jusqu'à une certaine dose optimale de 12 mg/L de sulfate d'alumine. Au-delà de cette dose, le rendement diminue jusqu'à atteindre 76%, mais reprend ensuite une croissance, atteignant finalement un taux d'élimination de 98% pour une dose optimale de 7 mg/L de chaux vive. Ces résultats démontrent l'efficacité de la coagulation au sulfate d'alumine dans l'élimination des nitrites et des nitrates de l'eau du lac TSIANDRAZANDOHA. De plus, la synergie entre le sulfate d'alumine et la chaux vive, bien que moins prononcée pour les nitrites, se révèle cruciale dans l'optimisation du rendement d'élimination des nitrates [13]. Ces constatations corroborent les résultats antérieurs de Kheliel et al., (2015) soulignant l'efficacité potentielle de ces coagulants dans la réduction des concentrations de nitrates jusqu'à 98% [21]. Cette contribution scientifique souligne l'importance de maintenir les coagulants et leurs doses pour maximiser l'efficacité du traitement de l'eau, notamment en ce qui concerne les nitrites et les nitrates.

Enfin, l'efficacité d'élimination du phosphate connaît une augmentation significative avec l'augmentation des doses de sulfate d'alumine, variant entre 0 et 16 mg/L. Le taux d'abattement passe de 7,69% à 98%, atteignant son optimum à une dose de sulfate d'alumine de 12 mg/L. Même après l'introduction progressive de chaux vive (doses de 1 à 10 mg/L), le taux d'abattement demeure élevé, évoluant légèrement entre 85% et 96%. Ces résultats confirment les conclusions d'études antérieures menées par Seghairi et al., (2017), Iman et al., (2013) [5, 25], suggérant que la formation de précipités de phosphate d'aluminium favorise l'abattement. Cependant, la variabilité du taux d'abattement peut être attribuée à la composition chimique spécifique de l'eau du lac. En effet, cette dernière présente une faible teneur en éléments minéraux et un caractère acide, renforçant ainsi la réaction entre les ions phosphate et aluminium. Ainsi, la combinaison des deux coagulants semble être complémentaire dans le processus d'abattement du phosphate.

L'ajout de chaux vive pour la neutralisation dans le traitement de l'eau représente une pratique essentielle visant à ajuster le pH et éliminer les éléments acides. Les résultats obtenus, avec un pH ajusté entre 6,86 et 7,9, témoignent d'une neutralisation réussie des substances acides présentes dans l'eau brute, qui initialement affichait un pH compris entre 5 et 7. Ces constatations s'alignent avec les travaux de Jean (2009) et correspondent aux observations d'Etienne et al., (2011) [13, 24]. La réaction entre la chaux vive (CaO) et les ions hydrogènes, générant de l'eau et des ions calcium, explique cette neutralisation de l'acidité de l'eau. Cette étude suggère que la combinaison de la coagulation au sulfate d'alumine et de la neutralisation par la chaux vive a joué un rôle significatif dans l'élimination d'une variété d'impuretés présentes dans l'eau. En permettant l'ajustement du pH et la coagulation des particules en suspension, cette approche combinée a contribué efficacement à la purification de l'eau. La chaux, notamment utilisée pour le traitement des eaux acides selon les travaux de Caron (1986), a permis d'ajuster le pH de l'eau brute, déclenchant la formation d'un précipité gélatineux capable d'éliminer les colloïdes par sédimentation [26].

## 5. CONCLUSION

Cette expérimentation s'est concentrée sur la purification des eaux brutes du lac TSIANDRAZANDOHA, Ambositra, Madagascar, en utilisant la coagulation-floculation avec du sulfate d'aluminium et de la chaux vive. L'étude a été entreprise après une évaluation approfondie de la qualité de l'eau, visant à éliminer les contaminants tels que le nitrite, le nitrate, l'ammonium et le phosphate.

Les résultats ont révélé que la caractérisation des eaux brutes du lac TSIANDRAZANDOHA révèle une contamination chimique significative, dépassant les normes Malagasy pour des paramètres tels que l'ammonium ( $0,52 \pm 0,26$  mg/L), le nitrite ( $0,29 \pm 0,076$  mg/L), le nitrate ( $9,47 \pm 3,27$  mg/L), le phosphate ( $3,33 \pm 1,24$  mg/L) et les matières organiques ( $3,75 \pm 1,33$  mg/L), rendant l'eau inadaptée à la consommation humaine. Les résultats montrent également des corrélations entre les contaminants, mettant en évidence l'influence des activités anthropiques sur la composition de l'eau. L'élimination efficace de contaminants spécifiques, tels que l'ammonium, les nitrites, les nitrates et le phosphate, a été observée grâce à l'utilisation de sulfate d'aluminium et de chaux vive. Cette étude a validé que l'intégration de sulfate d'alumine (12 mg/L) et de chaux vive (7 mg/L) a conduit à des réductions substantielles des concentrations d'ammonium (99 %), de nitrites (100 %), de nitrates (98 %) et de phosphate (96 %) dans l'eau traitée, tout en neutralisant le pH à des valeurs proches de 6,86 et 7,9.

Ainsi, le sulfate d'alumine et la chaux vive agissent efficacement dans le traitement de la qualité physico-chimique de l'eau du lac.

**Reconnaissance :** Cette étude a été réalisée avec l'aide du Laboratoire d'analyse de la JIRAMA Ambositra et du Centre Nationale de Recherche Sur l'Environnement ainsi que Mr Olivà RANDRIANASOAVINA dans la réalisation de la cartographie.

## 6. REFERENCE

- [1] ZIRIRANE D., BAGALWA J. J., ISUMBISHO M., MULENGEZI M., MUKUMBA M. B. I., MUCHESO J., LUKAMBA A., IRAGI G., IRENGE B. et KAMANGALA F. K. A. R. 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*. Decembre 2014; 14 (3):22. Disponible sur <https://doi.org/10.4000/vertigo.15365>
- [2] Edokpayi J., Odiyo J. et Durowoju O. Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: a casestudy of South Africa. *In Water Quality: IntechOpen*. 2017; 402–416. Available on <https://doi.org/10.5772/66561>
- [3] Mohammed A.-Q., Youssef A. I., Ali A., Isslam B., Ikram M., Fouzia B., Khadija E. K. et Driss B. Analyse et Contrôle de la qualité physico-chimique des eaux souterraines de la région Sidi Allal Tazi-Gharb-Maroc. *International Journal of Innovation and Applied Studies*. 2015; 13 (12):420-429. Consulté le Octobre 29, 2023, sur <https://www.researchgate.net/publication/319454768>
- [4] Espérance O. H., Micheline A. D. T., Nelly C. K., Expédit W. V., Guy A. M. et Euloge A. Pollution des eaux à usages domestiques dans les milieux urbains défavorisés des pays en développement : Synthèse bibliographique. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 2016; 10 (15):2392-2412. Disponible sur <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.35>
- [5] Seghairi, N., L., M., A., B., & Y., A. Traitement des eaux usés par coagulation-floculation en utilisant le sulfta d'aluminium comme coagulant. *Journal of water and environmental Sciences*. 2017; 1(Numéro spécial ICWR 2):230-234. Consulté le Octobre 28, 2023, sur <https://revues.imist.ma/index.php/jwes/article/viewFile/7325/6259>
- [6] Arouna D., Adama T., Abdoulaye D. et Djiky K., Optimizing copper removal from synthetic water using electrocoagulation and response surface methodology. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*. 2023; 17 (15): 2128-2140. Available on <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v17i5.29>

- [7] Aziza, A., Abdeljalil, Z., et Abdelali, I. Utilisation d'un nouveau bio-floculant extrait de cactus marocain dans le traitement des rejets chargés de chrome (VI) par le procédé de coagulation floculation. *Afrique Science*. 2009; 5 (3):25-35. Consulté le octobre 27, 2023, sur <http://www.afriquescience.info/document.php?id=1619>. ISSN 1813-548X.
- [8] Mamhoudi I., Analyse d'eau d'Oued Sebou par Jar Test, Sebou: Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, 2012.
- [9] Weinger M. Systèmes à moindre coût pour la gestion des boues de blocs sanitaires : Cas d'Ambositra et de Mahanoro (Madagascar), Techniques courantes et Options améliorées. Washplus, Ambositra, 2015.
- [10] Francelette R. Evaluation environnementale stratégique de la région Amoron'i Manie. Antananarivo: Université d'Antananarivo; 2008. p. 56. Disponible sur [http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/zafyElliotW\\_ESPA\\_M2\\_07.pdf](http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/zafyElliotW_ESPA_M2_07.pdf)
- [11] Toniaina Maminirina A., Conception et réalisation d'un jar-test. Antananarivo: Université d'Antananarivo. 2015. Disponible sur [http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/andrianiasimpanarovolalaToniainaM\\_ESPA\\_M2\\_15.pdf](http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/andrianiasimpanarovolalaToniainaM_ESPA_M2_15.pdf)
- [12] JIRAMA. ANNEXE SUR NORME DE POTABILITE MALAGASY (Décret n°2004-635 du 15/06/04): NORME DE POTABILITE MALAGASY. JIRAMA Malagasy, Antananarivo, 2020.
- [13] Jean R., Bernard L., Nicole M. et Coll. L'Analyse de l'eau. vol. 09. Dunod Paris; 2009.
- [14] Franklin I. O.-G. et Peter J. S. A comparison of methods for the determination of dissolved and particulate phosphorus in natural waters. *Water research*. 1996; 30 (11):2739-2747.
- [15] Hamdani A., Mohamed C., Omar A. et Mohammed M., Caractérisation et traitement par coagulation-décantation d'un effluent de laiterie. *Hal Open Science*. 2004; 84 (13):317-328. Disponible sur <https://hal.science/hal-00895539/document>
- [16] Kouassi Ernest A., Oga Y. M. S., Koffi Y. B., Kouassi A. M. et Biemi N. S. J. 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*. 2011; 5(6): 2524-2542. Disponible sur doi:<http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.32>
- [17] Safiatou C., Vincent K. N. et Célestin B. A. Etude comparative de la qualité des eaux des étangs et du barrage d'une ferme piscicole en étang au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal*. 2019; 15 (24): 42-58. Disponible sur <https://doi.org/10.19044/esj.2019.v15n24p42>
- [18] Dumoutier N., Baudin I., Anselme C. et Manem J. Elimination de la matière organique biodégradable par ultrafiltration. *Revue des sciences de l'eau*. 1992; 5(1): 1718-8598. Disponible sur <https://doi.org/10.7202/705159ar>
- [19] Mahamat S. A. M., Theophile M., Tidjani A., Ndoumtamia G. et Loukman B. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux d'adduction publique de la Société Tchadienne des Eaux à N'djamena au Tchad. *Journal Applied Bioscience*. 2015; 95 :8973 – 8980. Disponible sur <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v95i1.7>
- [20] Marie Hanitriniaina R., L. N. R. R. et Rijalalaina R. Traitement des eaux usées d'extraction minière par coagulation-floculation avec le sulfate d'alumine et l'opuntia ficus indica. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*. 2022; 34 (11):100-112. Disponible sur DOI: 10.52155
- [21] Kheliel O., Ouakouak A., Youcef L. et A. S. Denitrification des eaux souterraines par adsorption sur charbon actif et par coagulation-floculation au sulfate d'aluminium. *Larhyss Journal*. 2015; (21):181-190. Disponible sur <https://larhyss.net/ojs/index.php/larhyss/article/view/264>
- [22] Abdelkarim M., Fadia B., Linda H., Wahida k. et Miled Z. R. Adoucissement par précipitation à la chaux couplée avec le sulfate d'aluminium des eaux de l'Albien d'Ain Sahara (Touggourt, Algérie). *Journal Algérien des Régions Arides JARA*. 2022; 14 (12): 6-17.
- [23] Linda H. et Samia A. Coagulation-floculation au sulfate d'aluminium de composés organiques phénoliques et effet de sels de calcium et de magnésium. *Journal of Water Science*. 2014; 27 (13): 271–280. Disponible sur <https://doi.org/10.7202/1027810ar>
- [24] Etienne R., Marie Hanitriniaina R. et Pierre R. Valorisation chimique du kaolin dans le traitement des eaux : préparation de nouveaux coagulants minéraux. *Journal of Water Science*. 2011; 24 (14):437–448. Disponible sur <https://doi.org/10.7202/1007629ar>
- [25] Iman C., Latifa M., Souabi S., Mohammed F. et Abdellah E. A. Etude de la performance de la STEP du centre emplisseur de la société Salam Gaz – Skhirat, Maroc. *Afrique SCIENCE*. 2013; 09(3): 91 – 102. Disponible sur <http://www.afriquescience.info/document.php?id=2953>
- [26] Caron J. J. Contrôle de la contamination des eaux de surface par ozonation. Sherbrooke. Québec. Canada: Université de Sherbrooke; 1986.



**How to cite this article: Andry Harinaina Rabearisoa, Bertrand Manjolongo, et Ravo Victoire Nasolomampionona. ÉTUDE APPROFONDIE DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE PAR LE SULFATE D'ALUMINE ET LA CHAUX VIVE DANS LES EAUX DU LAC TSIANDRAZANDOHA, AMBOSITRA, MADAGASCAR : CARACTERISATION ET CONTROLE. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2023;17(6): 23-33. DOI : 10.5281/zenodo.10247271**

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/>