



REPUBLIQUE DE MADAGASCAR
Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR – ANTSIRABE VAKINANKARATRA

oooo

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

PARCOURS : GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS

OPTION : SCIENCES ET TECHNIQUES EN GENIE DES PROCEDES

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de

Licence d'ingénierie en :

GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS

Intitulé :

**« CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA
QUALITE DE L'EAU POTABLE DE LA VILLE
D'ANTSIRABE : CAS DE LA JIRAMA
ANDRAIKIBA »**



Présenté par : **RAKOTONDRABE Philippe Ny Aina**

Promotion 2019



REPUBLIQUE DE MADAGASCAR
Fitiavana – Tanindrazana – Fandrosoana



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

INSTITUT D'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR – ANTSIRABE VAKINANKARATRA

ooo

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

PARCOURS : GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS

OPTION : SCIENCES ET TECHNIQUES EN GENIE DES PROCEDES

Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de

Licence d'ingénierie en :

GENIE DES PROCEDES CHIMIQUES ET INDUSTRIELS

Intitulé :

**« CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA
QUALITE DE L'EAU POTABLE DE LA VILLE
D'ANTSIRABE : CAS DE LA JIRAMA**

ANDRAIKIBA »



Présenté par : RAKOTONDRABE Philippe Ny Aina

Soutenu le 27 aout 2019 devant la commission d'examen composée de :

Président : Pr ANDRIANARISON Edouard Ravalison

Encadreur : Dr RATSIMBA Marie Hanitriniaina

Examineurs : Dr RABEHARITSARA Andry Tahina

Mme RANAIVOSON Sahondra Lalao Olga

Année : 2019

*Car moi, je connais les pensées que j'ai pour vous, -oracle
de Yahweh, - pensées de paix, et non de malheur, afin
de vous donner un avenir et de l'espérance.*

JEREMIE 29 : 11



REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu : **Le SEIGNEUR** tout puissant qui m'a donné le courage, l'énergie, la santé et la volonté pour accomplir ce travail.

Ensuite, j'adresse mes chaleureuses reconnaissances à :

- ★ Monsieur **RAVELOMANANA Mamy**, Professeur Titulaire, Président de l'Université d'Antananarivo.
- ★ Monsieur **RAJAONARISON Eddy Frank**, Maître de Conférences, Directeur de l'Institut d'Enseignement Supérieur Antsirabe Vakinankaratra.
- ★ Monsieur **RANDRIANA Nambinina Richard Fortuné**, Professeur de l'Enseignement Supérieur, Responsable des Parcours Génie des Procédés Chimiques et Industriels.
- ★ Monsieur **RAVONISON Elie Rijatiana Hervé**, Maître de conférences ; Chef de Département Génie Industriel.

J'adresse aussi également mes vifs remerciements aux membres du jury :

☆ A Monsieur **ANDRIANARISON Edouard Ravalison**, Professeur de l'Enseignement Supérieur, qui nous fait l'honneur de présider ce mémoire.

☆ A Madame **RATSIMBA Marie Hanitriniaina**, Maître de conférences, mon encadreur, Enseignant chercheur au sein de parcours Génie des Procédés Chimiques et Industriels, d'avoir pris en charge l'encadrement pédagogique et d'avoir consacré son précieux temps pour me suivre et m'orienter dans l'évolution de mes travaux.

☆ A Monsieur, docteur **RABEHARITSARA Andry Tahina**, et à Madame **RANAIVOSON Sahondra Lalao Olga**, Enseignants chercheurs au sein de parcours Génie des Procédés Chimiques et Industriels, qui ont accepté d'être les examinateurs de ce mémoire.

Remerciements également à :

- ✦ Monsieur **RAHAROMISA Volahasina**, Directeur Interrégional de la JIRAMA Antsirabe.
- ✦ Monsieur **RAKOTOSON Rija Harivony**, Chef de service Eau JIRAMA Antsirabe.
- ✦ Toute l'équipe de la société JIRAMA Antsirabe et Mandroseza, pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle tout au long du stage au sein du laboratoire physico-chimique à Mandroseza, particulièrement à Monsieur **RAKOTOARIVELONANAHARY Bruno**, Chef de Service Contrôle Qualité Physico-chimique au laboratoire de la JIRAMA Mandroseza.
- ✦ Monsieur **RAKOTORAHALAHY Bruno** responsable de la station de pompage à Andraikiba.
- ✦ Tous les **enseignants** qui nous ont formés pendant les trois années d'études à l'Institut d'Enseignement Supérieur Antsirabe Vakinankaratra.
- ✦ **Ma famille** pour leur soutien moral, matériel, financier et leurs précieux conseils qui m'ont aidé durant toutes ces années d'études.
- ✦ **Mes amis** et ceux qui ont contribué de près ou de loin, à l'élaboration du présent mémoire.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

SOMMAIRE

GLOSSAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS, ACRONYMES ET UNITES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES PHOTOS

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION GENERALE

Première Partie : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : LES EAUX NATURELLES

CHAPITRE 2 : L'EAU POTABLE ET SES ETAPES DE TRAITEMENT

Deuxième Partie : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU DOMAINE D'ETUDE

CHAPITRE 2 : MATERIELS ET METHODES

Troisième partie : RESULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE 1 : RESULTATS DES ESSAIS DE TRAITEMENTS

CHAPITRE 2 : RESULTATS DES ANALYSES DES EAUX BRUTES ET TRAITEES

CHAPITRE 3 : PROPOSITION D'AMELIORATIONS POUR LE TRAITEMENT

DE L'EAU POTABLE DE LA JIRAMA ANDRAIKIBA

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

ANNEXES

TABLE DE MATIERES

GLOSSAIRE

- Adsorption :** Phénomène de surface par lequel des atomes, des ions ou des molécules (adsorbats) se fixent sur une surface solide (adsorbant) depuis une phase gazeuse, liquide ou une solution solide.
- Biodégradation :** La biodégradation est la décomposition de matières organiques par des micro-organismes comme les bactéries, les champignons ou les algues.
- Biotope :** Correspond à un milieu de vie délimité géographiquement dans lequel les conditions écologiques (température, humidité,...) sont homogènes, bien définies, et suffisent à l'épanouissement des êtres vivants qui y résident (biocénose), avec lesquels ils forment un écosystème.
- Eaux plates :** C'est une eau minérale ou une eau de source qui, contrairement à l'eau gazeuse, ne contient pas de gaz. Elle ne pétille donc pas.
- Flocs :** Union de matières colloïdales et de flocculant lors d'un processus de floculation
- Hydrosphère :** Terme désignant l'ensemble des zones d'une planète où l'eau est présente. Elle concerne aussi bien l'eau sous forme liquide, solide et gazeuse.
- Micropolluant :** C'est une substance (minérale, biologique, organique, radioactive...) polluante présente dans des concentrations très faibles dans l'eau, dans l'air ou le sol, et qui peut avoir une action toxique pour tout ou partie des organismes ou écosystème.
- Pathogène :** Micro-organisme susceptible de provoquer une maladie lorsqu'il pénètre dans l'organisme humain.
- Taux de**
- Traitement :** C'est les différentes valeurs émises, nécessaire pour attribuer au calcul de concentration de solution qu'on doit verser pour le traitement de l'eau.

LISTE DES ABREVIATIONS, ACRONYMES ET UNITES

ANDEA	Autorité Nationale de l'Eau et de l'Assainissement
BAD	Banque Africaine de Développement
BEI	Banque Européenne d'Investissement
cal	Calorie
Cm	Centimètre
CO ₂	Dioxyde de Carbone
°C	Degrés Celsius
DBO	Demande Biochimique en Oxygène
DN	Diamètre Normale
DMS	Degré, Minutes, Secondes
EEM	Eau et Electricité de Madagascar
g	Gramme
GIRE	Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GNE	Gérance Nationale de l'Eau
h	Heure
Ha	Hectare
H ₂ O	Eau
JIRAMA	Jiro sy Rano Malagasy
Kg	Kilogramme
KW	Kilowatt
l	Litre
m	Mètre
m ³	Mètre cube
MES	Matières En Suspension
MIEM	Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines
Mg	Milligramme
MO	Matières Organiques
N.M.A	Norme Maximale Admissible
N.M	Norme Malgache
NTU	Nephelometric Turbidity Unity
OMD	Objectifs du Millénaire pour le Développement
O.M.S	Organisation Mondiale de la Santé
PK	Point Kilométrique

SEM	Société d'Énergie de Madagascar
UNICEF	United Nations International Children's Emergency Fund
V.M.A	Valeur Maximale Admissible pour eau potable

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1-	LES DIFFERENTS TYPES DE DEGRILLAGE SELON SA DIMENSION	8
TABLEAU 2-	TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ESSAI DU TRAITEMENT N°1	38
TABLEAU 3-	TABLEAU RECAPITULATIF DE L'ESSAI DU TRAITEMENT N°2	39
TABLEAU 4-	PARAMETRES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DE L'EAU BRUTE ET DE L'EAU TRAITEE .	40
TABLEAU 5-	ANALYSE PHYSICO- CHIMIQUE DE LA JIRAMA.....	41
TABLEAU 6-	PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES DE L'EAU BRUTE DU LAC (21/02/15)	43
TABLEAU 7-	PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DE L'EAU BRUTE DU LAC (21/02/15).....	44
TABLEAU 8-	PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES DE L'EAU BRUTE DU LAC (26/10/17)	44
TABLEAU 9-	PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DU L'EAU BRUTE DU LAC (26/10/17).....	44
TABLEAU 10-	PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES DE L'EAU TRAITEE DU LAC (17/07/13)	47
TABLEAU 11-	PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES DE L'EAU TRAITEE DU LAC (17/07/13)	47

LISTE DES PHOTOS

PHOTO 1- REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA MOLECULE D'EAU.....	3
PHOTO 2- LE LAC ANDRAIKIBA.....	18
PHOTO 3- LA STATION DE POMPAGE D'ANDRAIKIBA.....	24
PHOTO 4- LE BAC A SOLUTION DE LA STATION DE POMPAGE D'ANDRAIKIBA.....	26
PHOTO 5- LE FLOCULATEUR.....	28
PHOTO 6- PH METRE.....	30
PHOTO 7- CONDUCTIMETRE.....	31
PHOTO 8- BECHERS DE 500 ML.....	31
PHOTO 9- TURBIDIMETRE.....	32
PHOTO 10- COLORIMETRE.....	35
PHOTO 11- LES MOTEURS DE POMPAGE.....	V
PHOTO 12- LES CHAMBRES DE VANNE.....	V
PHOTO 13- L'ANTIBELIER.....	V
PHOTO 14- POMPE DOSEUSE.....	V
PHOTO 15- LINGES LAVES ET ETALES AU BORD DU LAC.....	V
PHOTO 16- LE BAINADE DES GENS SUR LE LAC.....	V

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1- REPRESENTATION SCHEMATIQUE DE LA MOLECULE D'EAU.....	3
FIGURE 2- IMAGE D'ILLUSTRATION DE PROCESSUS DE DECANTATION.....	11
FIGURE 3- LA CARTE D'APERÇUE DE LA ZONE D'ETUDE	15
FIGURE 4- LA CARTE DE LOCALISATION DU LAC ANDRAIKIBA.....	17
FIGURE 5- ORGANIGRAMME DE LA JIRAMA AU NIVEAU NATIONAL.....	21
FIGURE 6- ORGANIGRAMME DE LA DIR JIRAMA ANTSIRABE.....	22
FIGURE 7- LES ETAPES DE LA PRODUCTION DES EAUX POTABLE DE LA JIRAMA ANDRAIKIBA..	24
FIGURE 8- PHENOMENE DU RENVERSEMENT.....	46

Introduction Générale

L'eau est indispensable à l'existence, au développement et à la vie de tous les êtres vivants y compris l'Homme. C'est la raison pour laquelle il est important de faire tout ce qui est possible afin de la protéger et de maintenir sa qualité pour les générations actuelles et futures. Pour avoir une eau potable, l'eau doit subir des étapes de traitement précises et efficaces, ainsi que des analyses physico-chimiques, et microbiologiques.

La société JIRAMA est parmi la principale intervenant dans le domaine de production et distribution d'eau potable à Madagascar malgré l'existence de différentes ONG et de projet de développement qui s'épanouit dans le secteur.

Le Lac d'Andraikiba assure une majeure partie de l'alimentation en eau de la Commune Urbaine d'Antsirabe I. La station de production d'eau potable de la JIRAMA à Andraikiba adopte depuis son existence le processus de traitement simple pour l'exploitation de l'eau du lac. Or actuellement, vu la dégradation de la qualité de cette eau face aux divers agents polluants aux alentours, le système de traitement d'eau adapté n'en est plus convenable. Quels sont alors ces polluants ? D'où viennent-ils ? Quelles précautions et solutions doit-on prendre ?

Le choix du thème « **Contribution à l'amélioration de la qualité de l'eau potable de la ville d'Antsirabe : cas de la JIRAMA Andraikiba** » a été élaborée pour avoir des informations sur le traitement actuel de l'eau, présent sur ce site ; de présenter les problèmes et le plus important, de proposer des améliorations.

Pour cet ouvrage, le plan se divise en trois grandes parties bien distinctes :

- La première partie est consacrée aux « *Etude bibliographique* ».
- La deuxième partie se base sur les études expérimentales.
- Et la dernière partie expose les résultats et discussions.

Première Partie : ETUDE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 1 : Les eaux naturelles

I- DEFINITION [14]

Les eaux naturelles sont toutes les eaux de l'hydrosphère non transformées par l'Homme. Cela inclut les eaux douces du milieu naturel, les eaux marines et les eaux souterraines, quelle que soit la nature chimique. Une eau naturelle est étudiée en hydrologie, en hydrochimie et dans toutes les sciences de l'eau. Les eaux naturelles peuvent être des eaux plates, des eaux pétillantes gazeuses, faiblement minéralisées à très fortes salinités. L'eau pure (H_2O) est rare dans les biotopes de la nature.

II- LES PROPRIETES SUR L'EAU

II-1 Propriétés physiques [1]

L'eau possède un point de fusion, un point d'ébullition, une chaleur de vaporisation, une chaleur spécifique, une chaleur de fusion et une tension superficielle plus élevés que ceux des autres liquides :

- à la pression atmosphérique, la température d'ébullition de l'eau est de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($65\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour le méthanol).

- à la pression atmosphérique et une température de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, sa chaleur de vaporisation est de 540 cal/g (à comparer avec les 260 pour le méthanol et les 59 pour le chloroforme). L'élimination d'une faible quantité d'eau, par exemple par transpiration, permet d'évacuer une grande quantité de chaleur : propriété essentielle pour les êtres vivants homéothermes.

- l'eau a une grande capacité calorifique (1 cal/g pour élever la température de $1\text{ }^{\circ}\text{C}$) : elle joue donc un rôle très important comme tampon calorifique.

II-2 Propriétés chimiques [2], [3]

La molécule d'eau est composée de 1 atome d'oxygène central et de 2 atomes d'hydrogènes périphériques.

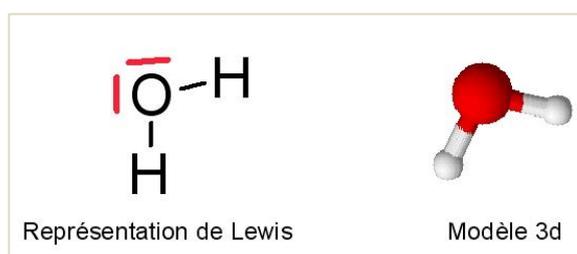


Figure 1- Représentation schématique de la molécule d'eau

(Source : Google photos)

L'eau n'est pas seulement un ensemble de molécules H₂O. Elle contient en réalité naturellement une très grande variété de matières dissoutes, inertes ou vivantes : des gaz, des substances minérales ou organiques, des microorganismes (bactéries, virus, plancton), ainsi que des particules en suspension (fines particules d'argiles, limons et déchets végétaux).

La composition chimique de l'eau est ainsi complètement liée aux caractéristiques du bassin versant dans lequel elle opère son cycle (la nature du sol et du sous-sol, les espèces végétales et animales, mais également les activités humaines). C'est un excellent solvant, capable de dissoudre un très grand nombre de corps (salinité de l'eau de mer, dissolution du sucre dans le café, transport sanguin des sels minéraux, des sucres, etc.).

III- LES DIFFERENTES RESSOURCES DES EAUX NATURELLES [4]

III-1- Eaux souterraines

De point de vue hydrogéologique les couches aquifères se divisent en :

- Nappes phréatiques ou alluviales : peu profondes et alimentées directement par les précipitations pluvieuses ou les écoulements d'eau en dessus.
- Nappes captives : plus profondes que les premières et séparées de la surface par une couche imperméable, l'alimentation de ces nappes est assurée par l'infiltration sur leurs bordures.

La nature du terrain sous lequel se trouvent ces eaux souterraines est un déterminant de leurs compositions chimiques. Cependant elles sont appelées aussi les eaux propres car elles répondent en général aux normes de potabilité. Pourtant, ces eaux sont moins sensibles aux pollutions accidentelles, elles perdent totalement leur pureté originale dans le cas de contamination par des polluants.

III-2- Eaux de surface

Ce type des eaux englobe toutes les eaux circulantes ou stockées à la surface des continents (rivières, lacs, étangs, barrages,...). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de cela que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement.

III-3- Eaux des mers et océans

Les mers et les océans constituent des énormes réservoirs d'eau. Les eaux de mer représentent près de 97,4 % du volume d'eau existant actuellement sur notre planète, le reste est la part des eaux continentales (eaux souterraines et superficielles). Les eaux de mers sont caractérisées par une grande salinité, elles sont dénommées aussi « eaux saumâtres », ce qui rend leur utilisation difficile, notamment leur coût très élevé pour leur traitement.

III-4- Eau de pluie (précipitation) [5]

C'est une eau venue de l'atmosphère ou des eaux météorites qu'on pourra appeler aussi « eaux de précipitations ». Elle a la plus basse teneur saline et contient seulement les substances dissoutes au cours de sa circulation dans l'atmosphère. De plus, dans l'eau de pluie, on note la présence de l'ammoniac, du carbone, du nitrate et du nitrite d'ammonium mais en petite quantité qui donne d'un milligramme par litre (1 mg/l) d'azote combiné. Elle se trouve sous plusieurs formes : pluie, neige, brouillard, grêle... Grâce à elle, le sol est alimenté en eau et peut jouer son rôle de réservoir tampon pour la végétation. Elle est très riche en oxygène, pauvre en gaz carbonique et pourrait contenir des traces de nitrites et d'ammoniac. L'eau de pluie exerce une érosion mécanique en élargissant des fissures et des cavités préexistantes, une érosion chimique favorisant la dissolution de la roche. Alors, elle est légèrement acide et entraîne un appauvrissement du milieu. Du fait que sa teneur en CO₂ dissous, l'eau de pluie est légèrement acide. Au cours de son infiltration dans le sol et le sous-sol, elle se charge en ions et acquiert des propriétés physiques et chimiques qui caractérisent l'eau de la nappe qu'elle forme.

IV- LE CYCLE DE L'EAU [6]

L'eau circule en permanence dans l'atmosphère sur la terre et sous la terre, entraînée dans un cycle sans fin. Dans la nature, on peut trouver l'eau dans trois états différents : solide, liquide et gazeux. L'eau peut passer d'un état à l'autre. C'est ce que l'on appelle un changement d'état.

Tout d'abord, l'eau de la mer s'évapore. Elle devient du gaz qui ensuite se condense pour devenir des nuages. Les nuages se déplacent. Ils se transforment en pluie qui pénètre dans le sol (ruissellement) et sert à nourrir les plantes ou retourne à la mer. Les nuages peuvent aussi se transformer en neige (c'est la solidification). L'eau peut se changer aussi en glace. Lorsque le glacier fond (on appelle cela la fusion) sous l'effet de

la chaleur, cette eau alimente les rivières. Ensuite, les rivières se jettent dans les fleuves et les fleuves dans la mer. La mer s'évapore...

Et le cycle de l'eau recommence.

V- LA POLLUTION DE L'EAU [15]

La pollution de l'eau est une des principales pollutions mondiales avec la pollution atmosphérique.

La pollution de l'eau : des causes multiples

La pollution de l'eau a plusieurs origines :

- Agricole (nitrates et pesticides),
- Les voies de transports (eaux de ruissellement des voies de circulation, accidents, fuites d'oléoducs),
- Le désherbage des voies ferroviaires par des pesticides (les chemins de fer sont l'un des plus gros consommateurs de pesticides),
- Les fuites provenant de l'habitat dispersé (cuves de combustibles de chauffage),
- Les rejets des assainissements individuels et des petites collectivités,
- Des fuites des décharges d'ordures ménagères ou industrielles,
- Des retombées atmosphériques des fumées industrielles et domestiques ou des usines d'incinération de déchets.

Les polluants qui affectent l'eau :

- ✓ Les substances toxiques : Elles comprennent les métaux lourds (plomb, mercure...), les hydrocarbures, les phtalates et les polluants pétroliers.
- ✓ Les polluants pathogènes : les bactéries, virus et protozoaires.
- ✓ La demande biochimique en oxygène (DBO) : Certaines usines, notamment les usines de pâte à papier, déversent plusieurs produits chimiques dans les rivières. Ceux-ci prennent l'oxygène présent naturellement dans l'eau, provoquant la mort des poissons.
- ✓ Les éléments nutritifs
- ✓ Les nitrites, les nitrates
- ✓ Les nitrosamines : très cancérigènes, concernent surtout l'estomac et l'appareil digestif.

CHAPITRE 2 : L'eau potable et ses étapes de traitement

I- L'EAU POTABLE DANS LA VIE HUMAINE

Contexte et Problématique [7], [8], [9]

L'eau sur la terre est une matière première exceptionnelle. Mobile, indestructible et renouvelable, elle se prête à de multiples utilisations, parfois antagonistes. Les ressources en eau douce sont réparties de manière très contrastées autour de globe, y compris à Madagascar : des régions ont une abondance d'eau, d'autres connaissent des pénuries régulières. Comme toute ressource naturelle, l'eau doit être gérée au mieux pour concilier divers usages parfois antagonistes : eau potable pour la population, eau pour les secteurs économiques notamment l'agriculture mais aussi les mines ou autres industries. Dans un contexte où les besoins en eau croissent en raison de l'augmentation de la population et du changement climatique, il est essentiel de se préoccuper d'une gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) pour à la fois préserver la ressource et concilier les divers usages. Cependant cette gestion est encore peu développée et peu connue à Madagascar ; des institutions sont en place comme l'ANDEA mais pas encore totalement opérationnelles, des outils sont expérimentés à une échelle locale (inventaire des ressources) ou nationale (schéma directeur) mais ne sont pas encore appliqués ou diffusés à grande échelle. Pour passer à une véritable application des principes de la GIRE, il faut que l'ensemble des acteurs soient conscients des enjeux et comprennent où et comment agir.

Selon les premières estimations mondiales relatives à l'eau, à l'assainissement et à l'hygiène publiés par l'OMS et l'UNICEF, en juillet 2017; 2,1 milliards d'êtres humains (30 % de la population) n'ont pas encore accès à l'eau potable salubre à leur domicile et plus du double (60 %) ne disposent pas de services d'assainissement sûrs.

À Madagascar, les déficits en matière de gestion de l'eau et de l'assainissement ont un impact majeur sur la santé, sur l'éducation, sur l'économie ainsi que sur l'environnement. Avec un taux d'accès à l'eau potable de 41 %, chiffre donné par RanEAU en 2008, Madagascar figure parmi les pays les plus en retard au sein de l'Afrique subsaharienne, dont la moyenne se situe à 58 %.

II- PROCÉDES DE LA POTABILISATION DE L'EAU

1) Introduction [10], [11]

Les eaux brutes doivent subir, avant leur traitement proprement dit, un prétraitement. Il est destiné à extraire de l'eau brute la plus grande quantité d'éléments dont la nature ou les dimensions constitueraient une gêne pour les traitements ultérieurs. Les captages sont majoritairement réalisés dans les nappes souterraines. Cependant l'eau brute captée en milieu naturel n'est pas toujours potable. Elle doit alors être acheminée par des canalisations jusqu'à une usine spécialisée dans le traitement de l'eau, qui la rend "potable" c'est à dire consommable sans risque et respecte la norme de potabilité.

2) Les étapes du traitement complet d'eau potable

2-1 Le prétraitement [10], [11]

A- Prétraitement physique

1. Le dégrillage

Dès sa prise, l'eau passe à travers des grilles pour arrêter les éléments grossiers (corps flottants et gros déchets tel que des branchages, des cailloux,...). L'installation de dégrillage se compose : d'un canal, de la grille, du dégrilleur et d'une benne pour les déchets. L'espacement entre les barreaux et les grilles est soit plus de 3 cm (dégrillage grossier) ou de moins de 3 cm (fin).

Tableau 1- Les différents types de dégrillage selon sa dimension

Type de dégrillage	Espacement des barreaux
Dégrillage fin	<10 mm
Dégrillage moyen	10 – 30 mm
Pré-dégrillage	30 – 100 mm

2. Le micro tamisage

Ce procédé consiste en un filtrage plus fin de l'eau à travers une toile de fils ou de fibres ou à travers une membrane poreuse. Les particules organiques, minérales et le plancton sont interceptés si leur taille est supérieure à celle des ouvertures du micro tamis. Celui-ci n'améliore, ni la turbidité causée par de fines particules ni la couleur de

l'eau ; les argiles, les substances dissoutes, les éléments colloïdaux minéraux et organiques ne se trouvant pas arrêter.

3. Le dessablage

Le but de ce dispositif est de piéger les particules solides charriées par les eaux et les matières en suspension de granulométrie comprise entre 200 et 500 μm : sable, gravier, etc.

4. L'aération

L'aération peut être installée en tête de la chaîne de traitement de l'eau comme étape de pré-oxydation. Elle permet de mélanger l'air à l'eau pour favoriser les réactions d'oxydation, qui enlève les gaz dissous ou élimine les goûts et odeurs. Cette aération est nécessaire lorsque l'eau présente une carence en oxygène.

B- Préchloration ou pré-oxydation [12]

C'est un procédé de prétraitement chimique utilisé dans le cas où l'eau est chargée en matière organique. Elle permet au chlore d'agir à temps et de décomposer les matières organiques afin de faciliter leur décomposition dans les décanteurs. La préchloration permet aussi d'oxyder les corps existants dans l'eau tels que les ions ferreux manganéux, les nitrites ou nitrates, les matières organiques et les micro-organismes (algues, plancton et bactéries) qui sont susceptibles de se développer dans les différents ouvrages de traitement.

2-2 Le traitement de clarification [10], [11]

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites de diamètre compris entre 0,1 et 10 μm , appelées particules colloïdales (hydrophiles ou hydrophobes). Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, puisque leur concentration est très stable, ces particules n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres.

On les élimine alors par des procédés de « *coagulation - floculation* » en ajoutant des réactifs (coagulants).

a) Coagulation

La coagulation est un processus qui consiste à neutraliser les charges portées par les substances colloïdales ou dissoutes indésirables à l'aide d'un produit chimique de

charge opposée, appelé coagulant, afin de faciliter leur agglomération en flocons décantables ou filtrables. Le coagulant peut être introduit dans un bassin de mélange rapide ou dans un mélangeur statique en ligne qui génère tous deux une violente agitation au point d'injection.

b) Flocculation

La flocculation est l'étape de traitement qui suit la coagulation. Elle vise à favoriser la croissance de flocs par une agitation lente et prolongée de l'eau provenant des bassins de coagulation. Elle est réalisée dans un bassin pourvu d'une unité mécanique d'agitation et implique habituellement l'ajout d'un flocculant.



Photo 1- Décanteur – flocculateur

(Source : Traitement et épuration de l'eau - Installation de CANNES - Dr. BESSEDIK Madani)

c) La décantation

La décantation est la méthode de séparation gravitaire la plus fréquente de MES et colloïdes (rassemblés sous forme de floc après l'étape de coagulation/flocculation). Il s'agit d'un procédé de séparation solide/liquide basé sur la pesanteur. Cette séparation est induite par réduction de la vitesse horizontale qui doit être inférieure à la vitesse verticale (de chute, de décantation ou ascensionnelle) afin de favoriser la sédimentation des particules dans un piège. Ces particules s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite décantée.



Figure 2- Image d'illustration de processus de décantation

(**Source** : *Traitement et épuration de l'eau - DÉCANTATION - Dr. BESSEDIK Madani*)

d) La filtration [16]

C'est un procédé physique disposé généralement après la décantation (notamment dans le cas des eaux de surface). La filtration permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors des étapes précédentes ou qui ont été formées lors de la pré-oxydation. Elle est réalisée sur matériaux classiques (sable) ou sur membranes (cas des eaux souterraines karstiques). La plus répandue est la filtration sur lit de sable (lit filtrant) : une couche de sable retient les particules et laisse passer l'eau filtrée.

Le filtre peut jouer un double rôle suivant les conditions d'exploitation : d'une part, il retient les matières en suspension par filtration et d'autre part, il constitue un support bactérien permettant un traitement biologique, c'est-à-dire une consommation des matières organiques et de l'ammoniac, ou du fer et du manganèse, par les bactéries qui sont développées sur le sable. Le filtre à sable nécessite un nettoyage périodique afin d'éliminer les matières retenues entre les grains qui ralentissent le passage de l'eau. La filtration sur lit de sable, efficace, simple et peu coûteuse, s'est imposée, en raison des énormes volumes d'eau à filtrer.

La filtration sur membranes (microfiltration notamment) est de plus en plus fréquemment utilisée, mais elle reste encore onéreuse. Elle est fondée sur l'utilisation de membranes de faible épaisseur, comportant des pores réguliers de très petites dimensions.

2-3 Le traitement de finition

a. L'affinage [16]

Les traitements d'affinage de l'eau font intervenir des procédés d'ozonation, de filtration sur charbon actif ou de filtration sur membranes (ultrafiltration ou nano-filtration). L'affinage a pour effet l'oxydation et la biodégradation des matières organiques et

l'élimination ou l'absorption de certains micropolluants. En outre, il améliore les qualités organoleptiques de l'eau (saveur, odeur, limpidité).

i. L'ozone O₃

L'ozone, outre son grand pouvoir désinfectant (élimination des virus et des spores bactériennes), permet l'oxydation de certains micropolluants organiques (pesticides, composés aromatiques...) et transforme les matières organiques naturelles (qui sont ensuite éliminées par le charbon actif biologique) en augmentant leur biodégradabilité.

ii. Le charbon actif

Le charbon actif est un matériau poreux qui possède une très grande surface spécifique qui permet l'adsorption et la dégradation par voie microbiologique des matières organiques naturelles et des micropolluants organiques (notamment pesticides).

L'utilisation de membranes présentant un seuil de coupure très faible (ultrafiltration ou nano-filtration) commence à être pratiquée en traitement d'affinage. Elles permettent de retenir des molécules de taille importante (ultrafiltration) à petite (ultrafiltration couplée à une injection de charbon actif en poudre, nano-filtration), comme les pesticides.

b. La désinfection [10]

La plupart des microorganismes pathogènes est éliminée de l'eau lors des précédentes phases de traitement. Cependant, la désinfection de l'eau est encore nécessaire afin d'empêcher que l'eau potable soit nocive pour notre santé. La désinfection est un traitement qui permet d'éliminer les microorganismes susceptibles de transmettre des maladies; ce traitement n'inclut pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné.

On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides. Les produits chimiques les plus utilisés sont : le chlore, le dioxyde de chlore, l'ozone, le brome, l'iode et le permanganate de potassium. On peut également désinfecter l'eau grâce à des moyens physiques : ébullition, ultrasons, ultraviolets ou rayons gamma.

2-4 Quelques traitements spécifiques de correction des eaux naturelles [13], [11]

a) Désinfection par ultra-violet :

Procédé de désinfection par rayonnement émis par des lampes à vapeur de mercure avec une longueur d'onde de 256 nanomètres. La désinfection par ultra-violet n'a pas d'effet rémanent, c'est-à-dire que son effet désinfectant ne persiste pas. L'eau ainsi purifiée n'a aucune action purifiante sur son environnement et n'est pas protégée contre une pollution ultérieure. Cependant, le principal avantage de ce procédé est de n'apporter aucun additif à l'eau traitée ; il est donc particulièrement adapté à la désinfection des eaux ultra-pures.

b) Dénitratation :

Il existe des résines anioniques qui ont une affinité sélective pour les ions nitrates. Toutefois, elles ne sont pas spécifiques au seul ion nitrate et la présence d'autres anions influence sa sélectivité (sulfates, chlorures, bicarbonates, etc.). Les résines anioniques remplacent les ions nitrates par des ions chlorures par exemple.

L'échange d'ions est le moyen le plus efficace et le plus économique pour l'enlèvement des nitrates. La capacité de la résine et la période d'intervalle entre deux régénérations dépendent de la qualité de l'eau à traiter, plus spécifiquement de la quantité de nitrates à enlever, de la quantité de chlorures déjà présents dans l'eau brute et de la présence de sulfates qui ont une affinité plus grande que les nitrates avec les résines anioniques.

Deuxième Partie : ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE 1 : Présentation du domaine d'étude

I- QUELQUES INFORMATIONS SUR ANTSIRABE

La ville d'Antsirabe se situe à 167 km au sud de la capitale de Madagascar, se relie à Antananarivo par la route nationale numéro 7. Outre, c'est l'une des villes des hauts plateaux de Madagascar dans la province d'Antananarivo, et qui possède de climat le plus frais du pays surtout l'hiver. Elle prend le 3^{ème} rang de la plus grande ville après Antananarivo et Toamasina. Elle est aussi le chef-lieu de la région du Vakinankaratra.

Administrativement, elle est délimitée comme suit :

- l'Est : la Commune Rurale Ambohidranandriana
- l'Ouest : les Communes Rurales Antanimandry et Belazao
- au Nord : les Communes Rurales Ambano, Andranomanelatra et Ambohimiarivo
- au Sud : la Commune Rurale Vinaninkarena

La Commune urbaine d'Antsirabe I est composée de 60 Fokontany répartis dans 6 circonscriptions administratives, y compris Antsenakely Andraikiba où se localise le lac Andraikiba.

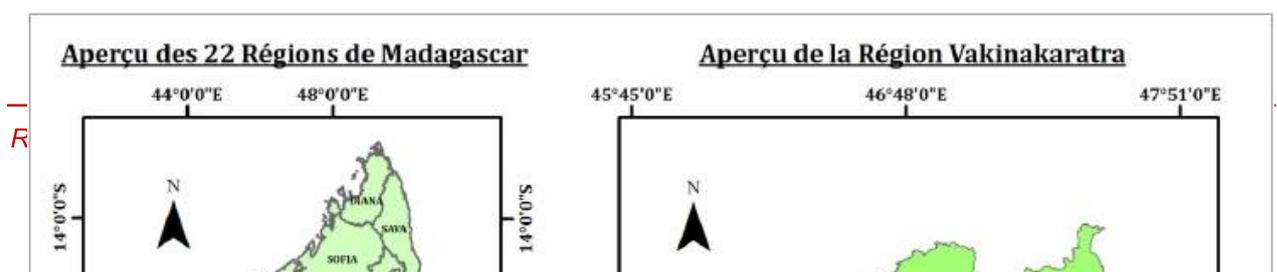


Figure 3- La carte d'aperçue de la zone d'étude

II- PRESENTATION DU LIEU D'IMPLANTATION DE LA STATION DU TRAITEMENT DES EAUX POTABLES A ETUDIER

Le lac Andraikiba

II-1- Localisation et Historique

a) Localisation

Le lac Andraikiba se trouve dans le district d'Antsirabe I, région Vakinankaratra, province d'Antananarivo ; il se situe à 7 km à l'ouest d'Antsirabe (sur la périphérie), dans le fokontany Talata Andraikiba (1,251 m d'altitude), suivi par la route nationale numéro 34 vers Morondava PK entre Antsirabe et Betafo. Le lac est repéré géographiquement par les coordonnées suivantes : 19°52'0° de latitude Sud et 46°58'0° de longitude Est en DMS de Madagascar.

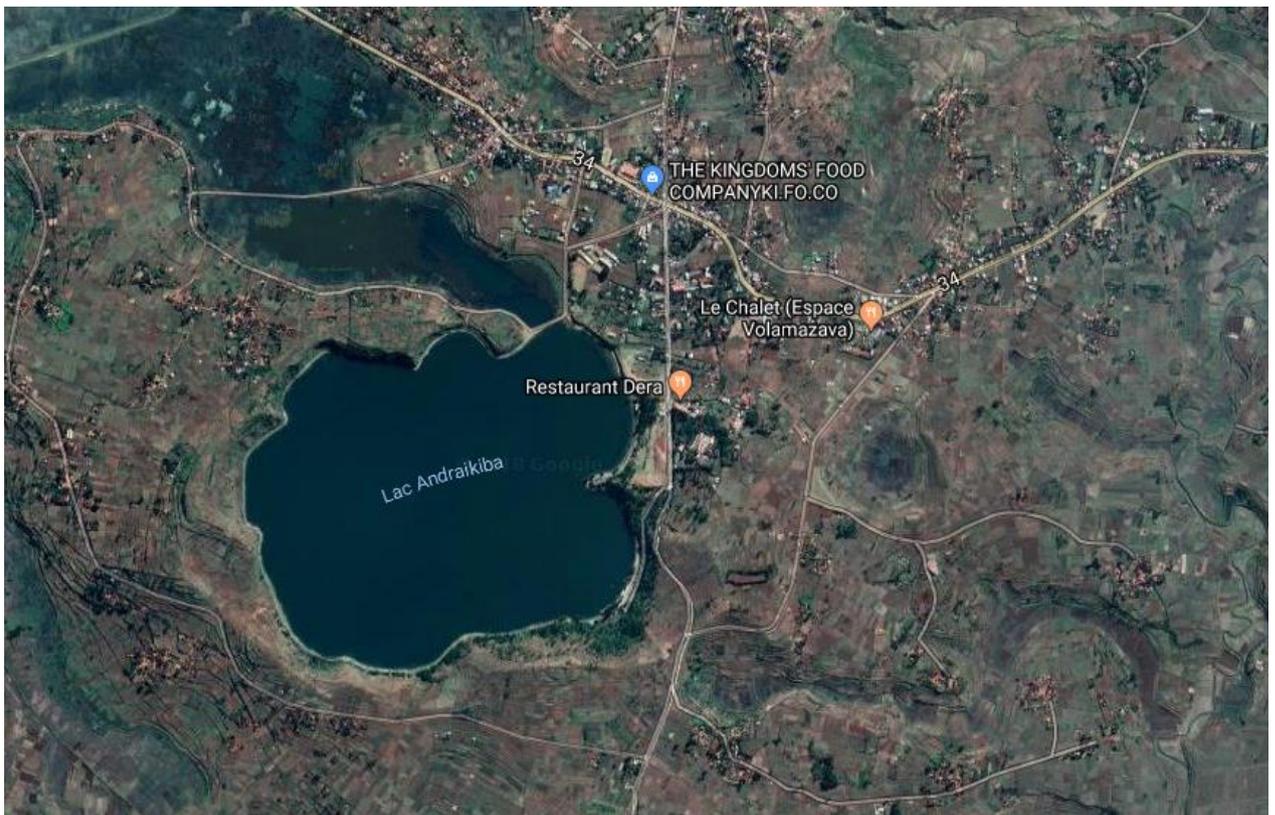


Figure 4- La carte de localisation du lac Andraikiba

Source : Google, Maps

b) Historique

A l'époque, dans cet endroit qu'on appelle lac Andraikiba habitait un roi appelé Rakotoarivelo. Il a une femme nommée Rangorivao. Celle-ci est restée longtemps stérile, n'a un enfant qu'au début de sa vieillesse, un garçon à qui elle donne le nom d'Indrianirina-le Désiré. Cependant, le roi a rencontré une jeune prétentieuse appelée Razanaboromanga et veut devenir bigame. La femme de celui-ci s'obstina de sa proposition. Rakotoarivelo impose alors un pari : celle des deux femmes, Rangorivao ou Razanaboromanga, qui aura traversé le lac dans les deux sens et le plus vite, deviendra sa favorite. Le pari a débuté, comme Rangorivao était déjà plus âgée, elle a eu des difficultés à traverser le lac, elle s'est coulée et cria à son mari « veloma, efa kiba » qui signifie littéralement « Adieu, je meurs ». C'est depuis ce jour-là, dit-on, que le lac est appelé "Andrenikina", là où une mère a trouvé la mort, qui s'est modifié par la suite en "Andraikiba", là où un père s'est tué.

II-2- Sa spécificité

C'est un beau lac naturel, ayant une superficie de 5 Km tout autour. Le lac Andraikiba est l'un de site touristique qui célèbre Antsirabe aux autres villes de Madagascar à part de celle de Tritriva, et les autres sites touristiques qu'on y trouve. Endroit fameux, tranquille avec un paysage magnifique aux alentours. Il est formé par le cratère d'un ancien volcan à eaux profondes de 71 m, avec une route circulaire et presque île boisée. Ce lac Andraikiba est aussi rattaché à un être légendaire avec une histoire plus ou moins pittoresque et dramatique. Le climat dans ce lieu est presque identique à celle d'Antsirabe.



Photo 2- Le lac Andraikiba

(Source : Google photos)

II-3- L'activité du lac

C'est un site touristique pour le malagasy, tout le monde s'y promènent et font diverses activités commerciales comme le marché d'artisanat qui s'installe le long du bord du lac. L'endroit est devenu un site de divertissement lors des jours fériés.

Le lac Andraikiba n'est pas seulement un site touristique spécifiant d'Antsirabe à l'autre ville, mais il est aussi la source d'eau qu'utilise la société JIRAMA pour ravitailler chaque ménage en eau potable.

II-4- Les environnements aux alentours du lac : LE SUJET D'ETUDE

Compte tenu de la vulnérabilité de la ressource en eau face aux polluants générés par les activités humaines ayant lieu sur les rives du lac, l'amélioration de la qualité de l'eau produite est donc essentielle et primordiale pour la société et pour des différentes collectivités (autorité, la population locale,...). C'est la raison d'être de ce présent œuvre qui consiste à mettre en place principalement une station de traitement complet d'eau potable pour traiter l'eau du lac Andraikiba ainsi que les autres améliorations qu'on doit faire.

III- PRESENTATION DE LA SOCIETE JIRAMA

La JIRAMA est une société d'Etat. Elle a été créée en 1975, suivant l'ordonnance n° 75 024 du 17 octobre 1975 et sous tutelle du Ministère de l'Industrie, de l'Energie et des Mines (MIEM) à l'époque. Le capital appartient en totalité à l'Etat Malagasy. Son siège social est à ANTANANARIVO (Ambohitovo, 123 rue RAINANDRIAMAMPANDRY).

1) Description

La JIRAMA (Jiro sy Rano Malagasy) est une entreprise publique chargée de la production, du transport et de la distribution (vente) de l'eau et de l'électricité.

Elle dispose des centrales thermiques (desservies par des groupes) et des centrales hydrauliques (desservies par des barrages hydrauliques), des stations de pompage (assurées par des pompes immergées) et de captages : gravitaires (cas de Tsiroanomandidy, Vatomandry).

2) Historique

L'orientation de la JIRAMA change suivant les étapes historiques vécues.

- 1896 - 1960 : période de la colonisation

Création des infrastructures eau et électricité (Ex : Antelomita 1 et 2 en 1903 ; Manandona en 1920, Volobe en 1930, Manandray en 1935, Vatomandry en 1953, Mandraka en 1955, Tsiacompaniry en 1956, Ankazobe en 1959,...).

- 1960 - 1972 : Période de néo colonisation

Implantation des industries étrangères : Eau et Electricité de Madagascar (EEM), Société d'Énergie de Madagascar (SEM), Gérance Nationale de l'Eau (GNE).

- 1972 - 1991 : Période de la Révolution Socialiste

Nationalisation, malgachisation des cadres, extension et industrialisation à grande échelle (Namorona en 1979, Andekaleka en 1982).

- 1991 - 1996 : Revirement vers la libéralisation

Ordonnance 96011 : Interdisant l'extension et l'investissement nouvel.

- 1996 - 2000 : Privatisation à outrance

Réforme du secteur de l'énergie (loi n° 98032). La JIRAMA est parmi les entreprises à privatiser.

- 2000 à ce jour : Mondialisation

Economie de marche, privatisation, course technologique,... Une partie des unités de production de la JIRAMA a été vendue à d'autres opérateurs (HENRI FRAISE, SYMBION POWER, ASKAF POWER...).

- 2002 : Création de Fonds National de l'Electricité et de Fonds National de l'Assainissement (pour l'eau).

3) [Organigramme de la JIRAMA](#)

Comme toute société, la JIRAMA a sa propre organisation. Cette dernière peut être visualisée à travers l'organigramme.

3- a) Organigramme de la société au niveau national

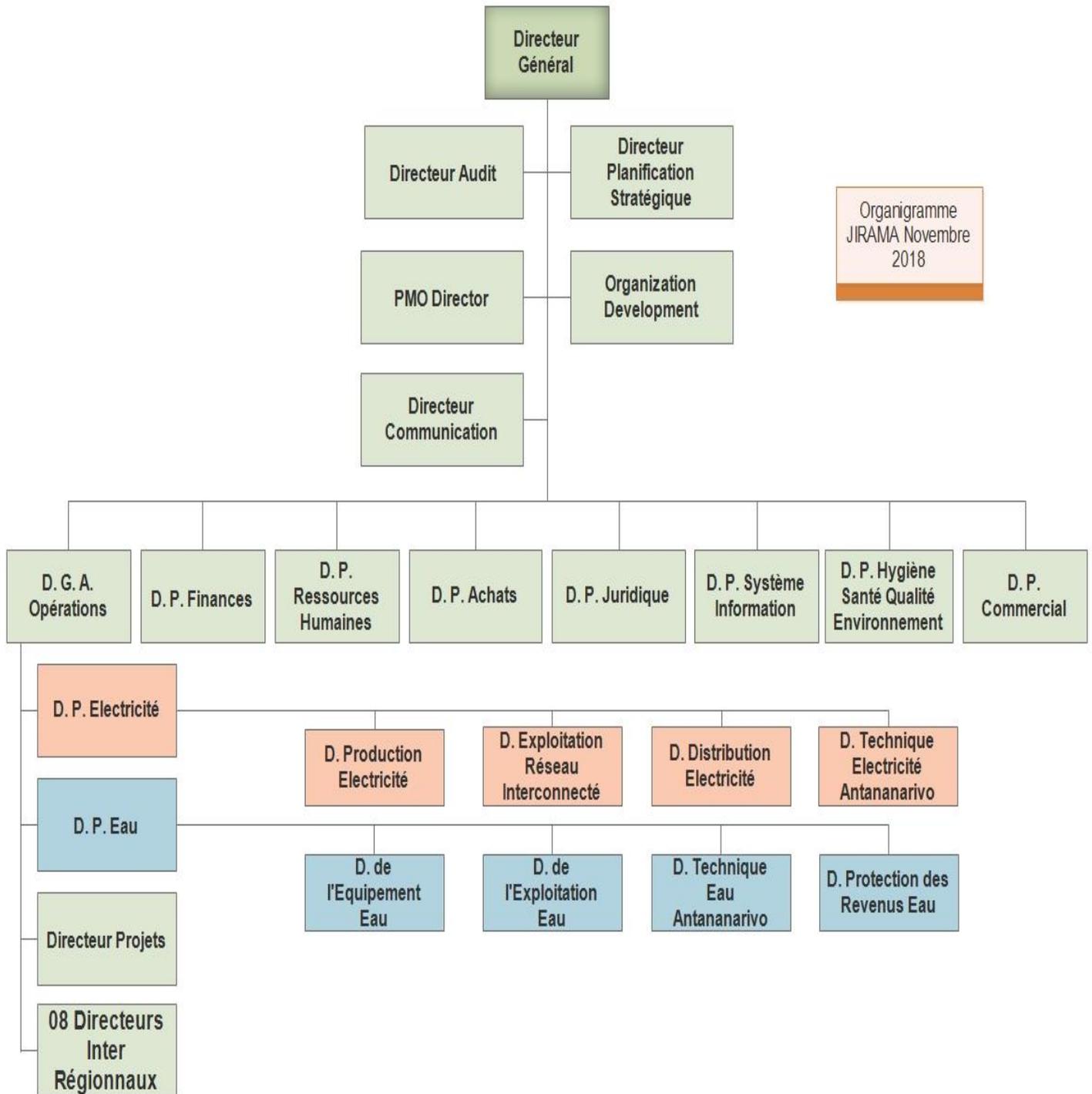


Figure 5- Organigramme de la JIRAMA au niveau national

Source : JIRAMA

3- b) Organigramme de la DIR JIRAMA Antsirabe

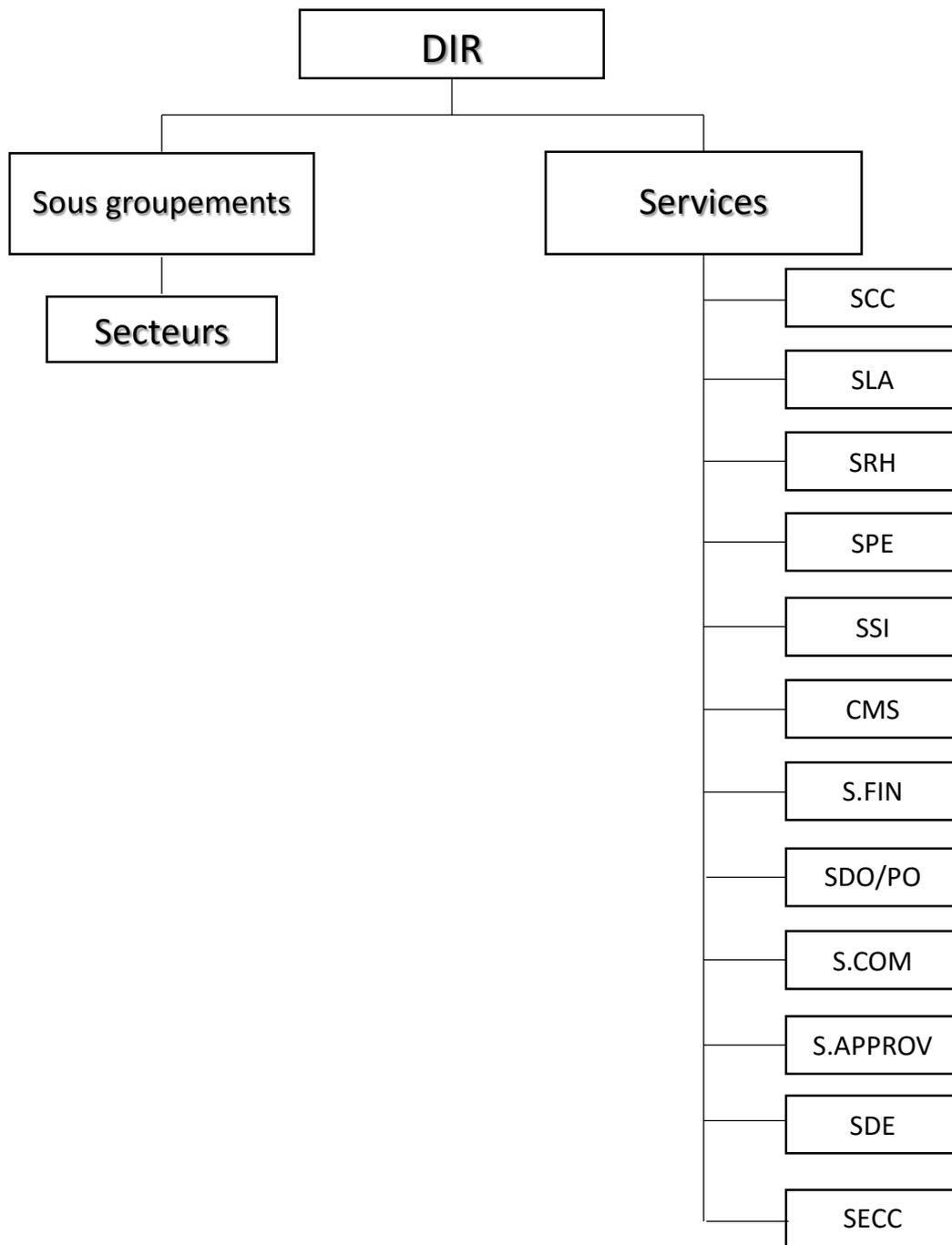


Figure 6- Organigramme de la DIR JIRAMA Antsirabe

Source : JIRAMA Antsirabe

- SCC : Service de contrôle et Coordination
- SLA : Service de Logistique et Appui
- SRH : Service des Ressources Humaines
- SPE : Service de la Production Electrique
- SSI : Service du Système Informatique

CMS :	Centre Médico-Social
S.FIN :	Service Financier
SDO/PO :	Service de Distribution et Production Eau
S.COMM :	Service Commercial
S.APPROV :	Service de l'Approvisionnement
SDE :	Service de Distribution d'Electricité
SECC :	Service de l'Environnement et Contrôle Carburant

Remarque :

- ☞ Un sous groupement est composé de plusieurs secteurs.
- ☞ Un secteur peut être mixte c'est-à-dire il produit de l'eau et de l'électricité, mais certains ne produit seulement que de l'eau ou de l'électricité.

Les sous groupements :

- Ambositra
- Morondava

Les secteurs qui produisent que de l'eau :

- Antanifotsy
- Belo sur Tsiribihina
- Mahabo

Source : JIRAMA Antsirabe

4) *Le site d'exploitation des eaux JIRAMA Antsirabe*

a- Production d'eau potable : Andraikiba

La production d'eau potable de la station de pompage Andraikiba se fait à partir des eaux de surface. Le lac Andraikiba est considéré comme une source assurant l'approvisionnement en eau potable de la partie sud de la ville d'Antsirabe. Mais il faut noter que ses eaux sont très vulnérables à la pollution suite aux mauvaises habitudes de l'être humain (baignade, lavandière, pêche,...) ; alors l'eau du lac Andraikiba doit subir un traitement efficace pour produire une eau potable conforme aux normes fixées par l'OMS et le Ministère de la Santé Malagasy. Actuellement le processus de production d'eau potable sur ce site se manifeste en 2 parties dont le captage par pompage et le traitement simple.

b- La station de pompage de JIRAMA Andraikiba

La station de pompage des eaux de JIRAMA Andraikiba a été créée d'après le plan de la JIRAMA N° 179 - 406 de 1977, améliorée et renouvelée en 2006 par le fond donné par la Banque Européenne d'Investissement (BEI), et s'étend sur une surface environ 3 Ha. Cette station se trouve juste près, au bord du lac Andraikiba et a pour objectif de produire de l'eau salubre à la consommation pour la ville. Le rendement de production est en moyenne de 500 m³/h d'eau potable.



Photo 3- La station de pompage d'Andraikiba

Source : Auteur

c- Traitement actuel :

Quelle que soit la turbidité du lac à travers la saison de l'année, cette station de pompage adopte depuis son fonctionnement un « traitement simple » sur l'eau, c'est-à-dire faire de la désinfection tout simplement. Or, ce type de traitement est applicable dans le cas d'une valeur de turbidité très faible (< 5 NTU).

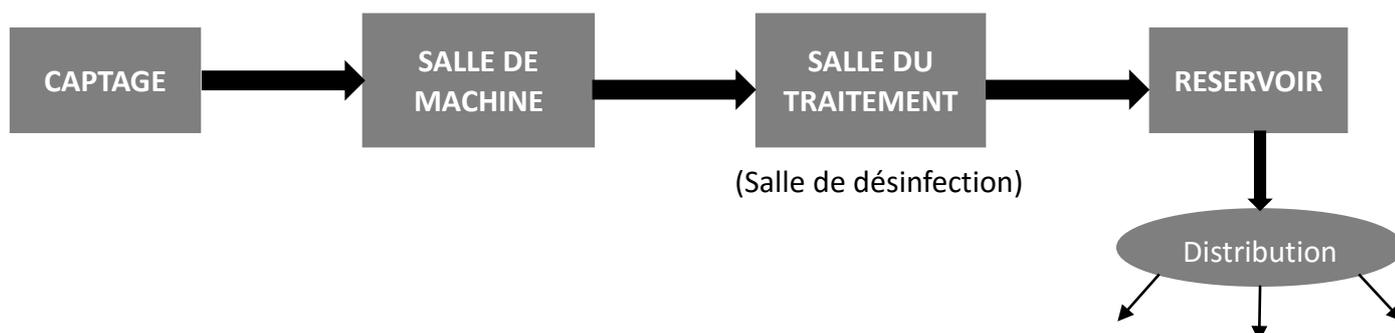


Figure 7- Les étapes de la production des eaux potables de la JIRAMA Andraikiba

Les différents appareils utilisés sur ce site :

- Tuyaux de conduite
- Quatre chambres de vanne
- Quatre moteurs de pompage
- Une pompe doseuse
- Une boîte à boue
- Des clapets non-retour
- Des filtres (se trouve dans la conduite)
- L'antibélier
- Le compteur de la production

d- Salle de machine

Dans la salle de machine, on trouve :

- Des pompes de refoulement : 4 pompes centrifuges SIEMENS d'une puissance nominale $P = 75$ KW chacune et dont leur fonctionnement se fait simultanément.
- Deux armoires électroniques pour la commande des machines et un tableau électronique pour le contrôle du déroulement de tous les appareils.

e- Salle du traitement (lieu de la désinfection)

La désinfection se déroule dans la salle du traitement, elle se fait par injection directe des produits désinfectants dans la conduite. Cette injection est réalisée avec une pompe doseuse duplex de débit $50 \text{ m}^3/\text{h}$ et un tuyau de 6 cm de diamètre qui fait prendre en charge de son acheminement jusqu'à la conduite. Son but est d'éliminer les micro-organismes présents dans les eaux susceptibles d'être pathogènes selon les procédés applicables en une ou plusieurs étapes de traitement jusqu'à l'obtention d'eau traitée potable.

Les produits utilisés :

D'après la statistique de la JIRAMA en 2012, seule la station de pompage Andraikiba avait utilisé l'hypochlorite de sodium (NaClO) ou eau de javel fabriqué à partir de la saumure, mais on a arrêté de l'utiliser depuis 2016 à cause de la détérioration de l'électrochlorateur (appareil qui permet de produire le NaClO par effet d'électrolyse).

Aujourd'hui, l'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ sous forme de grains (bidon de 40 - 45 kg) est utilisé par la JIRAMA Andraikiba pour la désinfection.

Voici les caractéristiques des sels marins et de l'hypochlorite de calcium utilisés à la station :

➤ <u>Hypochlorite de calcium</u> :		➤ <u>Sel Marin</u> :	
- Aspect	Granulé blanc	- Aspect	Cristaux blancs
- Granulométrie	0,2 mm à 1,5 mm	- NaCl	99 % min
- Cl_2 actif	70 % min	- Eau	0,5 % max
- Solubilité	bonne		

Le bac à solution :

Le bac à solution se trouve dans un petit hangar, qu'on peut appeler aussi « salle du traitement ». Sa hauteur est égale à 100 cm, le rabattement de produit de solution est de 5 cm/h. Il est muni de deux (02) agitateurs électroniques qui ont pour rôle de bien mélanger la solution mère.



Photo 4- Le bac à solution de la station de pompage d'Andraikiba

Source : Auteur

La dose de produits à injecter varie selon les circonstances présentes c'est-à-dire suivant l'eau de garde (solution restant) et la période de lavage du bac à solution.

Le dosage se fait par cette formule :

$$x = \frac{X (H_m - H_G)}{H_m}$$

x : la dose de désinfectants (kg)

X : poids du bac à vide (78 kg)

H_m : Hauteur maximale (100 cm)

H_G : H₂O de garde (eau de garde)

Exemple : posons l'eau de garde = 40 cm

Alors

$$x = \frac{78 (100 - 40)}{100}$$

x = 46,8 kg

Pour cet exemple, la quantité des produits chimiques à verser est égale à 46,8 kg.

Le lavage du bac

Le lavage du bac se fait en une fois par semaine, et le processus se fait comme suit :

- Arrêter le système d'injection et le fonctionnement de l'agitateur.
- Vider le bac (enlèvement du bouchon de vidange).
- Nettoyer les parois et le fond pour enlever les dépôts de calcaire et matières insolubles décantés avec de l'eau et d'une brosse plastique.
- Rincer tout et fermer le robinet de vidange.
- Charger un peu d'eau de préparation.

CHAPITRE 2 : Matériels et méthodes

I – MATERIELS ET METHODES POUR LES ESSAIS DE TRAITEMENTS (JAR-TEST)

i- Préparation de coagulant

☞ **Le sulfate d'alumine**

Nous avons préparé une solution avec 100 g de sulfate d'alumine qu'on ramène à 1 litre avec de l'eau.

ii- Essais de traitement

Méthode : Jar Test (essais coagulation - floculation) avec le sulfate d'alumine.

a) Principe

Le Jar Test a pour but de déterminer la nature et les doses de réactifs à utiliser pour assurer la clarification d'une eau. Il consiste aussi à apprécier la qualité de la coagulation - floculation ainsi que la turbidité minimale après introduction de quantité croissante de coagulant dans des béchers.

b) Matériels et réactifs utilisés

- 6 béchers de 1000 ml
- Flocculateur
- Eprouvette graduée
- Pipette
- Turbidimètre
- Solution mère 100 g/l (sulfate d'alumine)



Photo 5- Le flocculateur

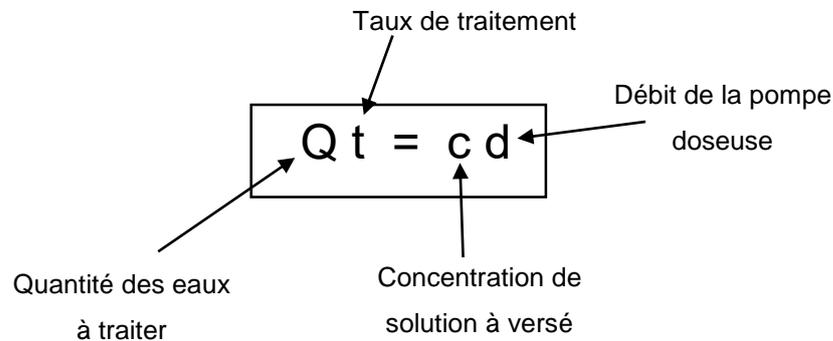
Source : Auteur

Mode opératoire :

- ✦ Prélever de l'eau brute, verser 1000 ml dans chacun des six béchers.

- ✦ Ajouter ces doses croissantes de sulfate d'alumine de solution mère de 100 g/l selon le taux de traitement a choisi.

Pour le calcul du taux de traitement, on applique la formule suivante :



Source : Laboratoire JIRAMA Mandrozeza

- ✦ Mettre les 6 béciers sous les agitateurs du flocculateur et le démarrer pendant 22 minutes.
- ✦ Le temps de floculation se répartit en 2 (2 minutes de vitesse rapide à 100 tours/min et 20 minutes de vitesse lente à 40 tours/min).
- ✦ Quand le temps de floculation est terminé, on arrête le flocculateur et on laisse l'eau à se décanter pendant 15 minutes.
- ✦ Après la décantation, les floccs s'évaluent pour chaque béciers et se déposent au fond.
- ✦ Et on prélève après, 5 ml d'eau de chacun pour la mesure de la turbidité.

II - MATERIELS ET METHODES POUR LES ANALYSES DES EAUX

1. Analyse physico-chimique de l'eau (analyse standard)

★ Principe général :

L'analyse physico-chimique permet de savoir le degré de la qualité de l'eau en cherchant la valeur de quelques paramètres essentiels et de prévoir déjà le traitement qu'on devra appliquer.

On distingue :

- Paramètres physiques
- Paramètres chimiques

a) Les paramètres physiques

La mesure des paramètres physiques de l'eau se fait en 2 temps, le premier est avant l'essai de traitement et la deuxième, c'est après. Ces paramètres se composent en 5 éléments : pH, température, minéralisation, conductivité, et turbidité.

i. Le pH (potentiel d'Hydrogène)

▪ Principe :

Le pH (sans unité) détermine la nature de l'eau c'est-à-dire : eau acide ou basique ou neutre, ou aussi la concentration en ions d'hydrogène (H^+).

▪ Matériel et méthode :

Dans nos cas, pour trouver la valeur du pH, on utilise un appareil électronique appelé : « pH mètre ». Mais on peut aussi utiliser un « comparateur standard » ou une « bandelette test ».



Photo 6- pH mètre

Source : Auteur

Mode opératoire :

- D'abord, on rince l'électrode du pH mètre avec l'eau distillée.
- On la plonge dans l'eau à analyser.
- On commence à mesurer en appuyant sur le bouton « START » de l'appareil.
- On attend le signal et on relève la valeur affichée sur l'écran.

ii. Conductivité, Température et Minéralisation

▪ Principe :

- Conductivité : La conductivité de l'eau est la capacité de l'eau à transporter le courant électrique. Son unité est le micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).
- Température : La température joue un rôle important sur l'état physique de l'eau, plus précisément, sur la solubilité des sels et surtout des gaz, et à la détermination du pH. La structure de la molécule d'eau change à chaque variation de la température. C'est le phénomène d'agitation thermique.
- Minéralisation : L'indice de minéralisation donne la quantité des minéraux présents dans l'eau. Les matières minérales sont généralement des sels de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium sous formes de carbonates, sulfates, chlorures et nitrates. Pourtant, cet indice n'arrive pas à identifier chacun de ces minéraux; il peut juste les dénombrer.

▪ Matériel et méthode :

L'appareil utilisé pour déterminer ces 3 paramètres est le « conductimètre ».



Photo 7- Conductimètre



Photo 8- Bêchers de 500 ml

Source : Auteur

Mode opératoire :

- D'abord, on rince l'électrode de conductimètre avec l'eau distillée. (Vérification : Constante de la cellule : $0,475 \text{ cm}^{-1}$ et Température de référence : $20 \text{ }^\circ\text{C}$ lors de l'allumage).
- On la plonge dans l'eau à analyser.

- On commence à mesurer en appuyant sur le bouton \mathcal{X} de la machine. (La valeur de conductivité s'affiche).
- Après, les résultats de l'indice de minéralisation et la température sont obtenus par lecture directe après avoir changé l'option en TDS (unité : mg/l). (En appuyant toujours une deuxième fois sur le même bouton)

iii. La mesure de turbidité

- Principe :

Turbidité : C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes. Le récipient destiné à l'échantillonnage doit être propre.

- Matériel et méthode :

La turbidité est obtenue à partir d'un appareil appelé « turbidimètre ». Son unité est la Nephelometric Turbidity Unit (NTU).

- Mode opératoire :

- Verser l'eau à analyser dans la cuve démontable de la machine.
- Agiter bien l'ensemble pour avoir de la bonne valeur.
- Brancher le turbidimètre.
- Commencer à mesurer.
- Relever la valeur de la turbidité affichée sur l'écran.



Photo 9- Turbidimètre

Source : Auteur

b) Paramètres chimiques

La mesure de ces paramètres se fait en général avant, et, après l'essai de traitement pour bien s'assurer l'efficacité du traitement et du respect de la norme de potabilité.

Pour nos analyses les paramètres chimiques à mesurer sont :

- Les matières organiques
- Le fer total
- Le nitrite
- Le nitrate

i- Taux des matières organiques

▪ Principe :

Le principe consiste à mesurer la teneur en oxygène dissous dans l'eau, plus précisément, l'oxygène provenant des matières organiques d'origines animales ou végétales. Une eau de bonne qualité se montre bien oxygénée.

▪ Matériels et méthode :

La détermination de la quantité en MO se fait par un dosage.

Les matériels à utiliser :

- Burette graduée
- Agitateur magnétique
- Barreau magnétique
- Bécher

Les réactifs utilisés sont : bicarbonate de soude, permanganate, acide sulfurique, sel de Mohr.

Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau à analyser,
- Ajouter 5 ml NaHCO_3 (bicarbonate de soude) saturé, porter à l'ébullition.
- Ajouter 10 ml de KMnO_4 N/80, encore porter à l'ébullition pendant 10 mn.
- Laisser refroidir, ajouter 5 ml de H_2SO_4 $\frac{1}{2}$ et 10 ml de Sel de Mohr 5 g/l.
- Titrer avec KMnO_4 N/80 jusqu'à l'apparition d'une coloration rose persistante.
- Soit V_1 le volume de KMnO_4 versé pour ce dosage.

Recommencer les mêmes opérations avec de l'eau distillée.

Soit V_2 le volume final versé (blanc du réactif exprimé en mg/l).

Le volume de KMnO_4 versé jusqu'au changement de couleur donne le taux de matières organiques dans l'eau. D'où l'oxydabilité des matières organiques au permanganate, exprimée en mg/l d'oxygène, est égale à $V_1 - V_2$.

Pour la potabilité, la norme est : 2 mg/l.

ii- Le taux en nitrite NO₂⁻

▪ Principe

Le taux en nitrite mesure la quantité d'ions nitrites (NO₂⁻) contenus dans l'eau. Pour la faune aquatique, le nitrite est toxique à forte dose. De plus, il peut provoquer une maladie infantile (méthémoglobinémie).

▪ Matériel et méthode :

L'appareil de lecture utilisé est le « colorimètre ».

Mode opératoire :

- On prélève 10 ml d'eau à analyser
- On y verse de la « poudre de nitrite »
- On attend 15 min de repos
- Après on verse l'échantillon dosé dans une cuve démontable appartenant même à l'appareil de mesure
- Et on commence la mesure, en attendant l'affichage de la valeur sur l'écran.

iii- Le taux du nitrate

▪ Principe

La teneur en ions nitrates exprime la quantité en ions nitrates (NO₃⁻) existants dans l'eau. Les nitrates proviennent généralement des effluents industriels, municipaux et du lessivage des terres agricoles.

▪ Matériel et méthode :

L'appareil de lecture utilisé pour trouver le taux de nitrate est le « colorimètre »

Mode opératoire :

- On prélève 10 ml d'eau à analyser
- On y verse de la « poudre de nitrate »
- On attend 15 min de repos
- Après on verse l'échantillon dosé dans une cuve démontable appartenant même à l'appareil de mesure

- Et la mesure commence, la valeur s'affiche sur l'écran



Photo 10- Colorimètre

Source : Auteur

iv- Taux du fer total

- Principe :

En milieu ammoniacal, le diméthylglyoxime donne en présence de fer Fe^{2+} , un complexe de coloration rose dont l'intensité est en fonction croissante de la concentration.

- Matériels et méthode :

Les matériels à utiliser sont les suivants :

- Comparateur standard Hydrocure
- Cuvettes graduées A/B
- Plaquette « fer 0,06 à 1 mg/l » et « fer 0,3 à 5 mg/l »
- Bécher ou fiole jaugée de 100 ml
- Pipette de 2 ml

Mode opératoire :

- Prélever 100 ml d'eau à analyser
- Ajouter une jauge de dithionite de sodium. Agiter jusqu'à dissolution du réactif.
- Ajouter 16 à 20 gouttes (2 ml) de diméthylglyoxime. Agiter. Attendre 2 mn.
- Ajouter encore 16 à 20 gouttes (2 ml) d'ammoniaque. Agiter. Attendre encore 2 mn.

- Comparer la couleur de cette solution avec celle des plaquettes étalons. Lire la teneur en fer correspondante en mg/l.

On effectue la comparaison comme suit :

Dans la partie supérieure de la plaquette pour " FER 0,06 à 1 mg/l "

Dans la partie inférieure pour " FER 0,3 à 5 mg/l "

Troisième Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE 1 : Résultats des essais de traitements en cours

1) Essai du traitement

Nous avons fait 12 essais de traitement en appliquant le processus de coagulation-floculation par le sulfate d'alumine à l'eau brute du lac.

a. Essais de traitement vague n°1 :

Tableau 2- Tableau récapitulatif de l'essai du traitement n°1

Béchers	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Volume d'eau traitée (ml)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Taux du traitement (mg/l)	6	7	8	9	10	11
Volume de sulfate d'alumine versé (ml)	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1
Aspect des floccs	Très peu de floccs	Beaucoup de floccs moyens	Beaucoup de petits floccs	Peu de gros floccs	Peu de floccs moyens	Beaucoup de petits floccs
Turbidité (NTU)	12,5	11,6	11,7	13,0	9,88	6,41

Source : Auteur

➤ Interprétation

On n'arrive pas à trouver le taux du traitement efficace pour ces 6 essais du traitement car les turbidités correspondants obtenues ne sont pas tous dans les normes, alors on a passé à une deuxième vague d'essai.

On remarque aussi que l'eau du lac contient des matières colloïdales, des boues,...causées par les polluants du lac. L'hypochlorite de calcium utilisé par la JIRAMA n'a aucun pouvoir à les enlever mais assure tout simplement la désinfection.

b. Essais de traitement vague n°2 :

Tableau 3- Tableau récapitulatif de l'essai du traitement n°2

Béchers	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Volume d'eau traitée (ml)	500	500	500	500	500	500
Taux du traitement (mg/l)	★ 9	10	11	12	13	14
Volume de sulfate d'alumine versé (ml)	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7
Turbidité (NTU)	3,39	3,40	4,68	4,27	5,81	6,52
Aspect des floccs	Beaucoup de floccs	Peu de floccs	Beaucoup de floccs	Beaucoup de floccs	Beaucoup de floccs	Peu de floccs
Taille de Floccs	Moyen	Moyen	Gros	Petit	Moyen	Petit

Source : Auteur

➤ Interprétation

D'après ce dernier tableau, le meilleur taux de sulfate d'alumine est égale à 9 mg/l, car cela donne la meilleure turbidité : 3,39 NTU avec beaucoup de gros floccs. On obtient alors une bonne turbidité qui suit la norme.

Le sulfate d'alumine améliore la turbidité, suivant la dose injectée en réunissant toutes les matières colloïdales présentes dans l'eau sous forme des floccs.

CHAPITRE 2 : Résultats des analyses des eaux brutes et traitées

I – Résultats des analyses de l'eau brute et l'eau traitée

Le tableau suivant montre les résultats des paramètres pour l'eau brute, et l'eau traitée par le taux de sulfate d'alumine égale à 9 mg/l au cours de l'étude expérimentale :

Tableau 4- Paramètres physiques et chimiques de l'eau brute et de l'eau traitée

Paramètres	Valeur pour eau brute	Valeur pour eau traitée	Norme de potabilité
Paramètres physiques			
pH	8,37	7,38	6,5 - 9,0
Température (°C)	24,8	23,8	<25
Minéralisation (mg/l)	86	18	-
Conductivité (µS/cm)	91,6	18,91	<3000
Turbidité (NTU)	20,8	3,39	<5
Paramètres chimiques			
M.O	3,5 mg/l	0,1 mg/l	2 mg/l
Fer total	0	0	0,5 mg/l
Nitrite	-	0,056 mg/l	V.M.A = 0,1 mg/l
Nitrate	-	1,3 mg/l	V.M.A = 50 g/l

Source : AUTEUR

➤ Interprétation de résultat :

D'après ce tableau, la turbidité de l'eau brute est élevée (20,8 NTU). Cela confirme qu'il y a une réduction de la transparence de l'eau brute du lac due à la présence de matières non dissoutes et produits chimiques rejetés pendant les activités de la population locale (agents polluants). La clarté de l'eau avait changé. Il y a aussi l'apparition des « matières organiques » (3,5 mg/l) qui dépasse la norme (0,1 mg/l) à cause de la pollution.

L'utilisation de la « sulfate d'alumine » comme produit additif pour le traitement est donc primordial pour le traitement de cette eau du lac Andraikiba, vu son état actuel. En effet, le sulfate d'alumine a son pouvoir de clarification en agissant comme coagulant.

II – Discussion et comparaison des résultats avec ceux du traitement actuel de la JIRAMA

Voici un résultat du traitement simple de l'eau du lac par la JIRAMA :

Tableau 5- Analyse physico- chimique de la JIRAMA

Paramètres	Unité	Examen au Laboratoire	V.M.A/N.M
TEMPERATURE	°C	13,7	<25
CONDUCTIVITE A 20°C	µS/cm	92,1	<3000
TURBIDITE	NTU	12,8	<5
pH		7,45	6,5 - 9,0
MO	mgO ₂ /l	1,6	2

Source : JIRAMA Antsirabe

Vu cet extrait du résultat d'analyse physico-chimique de l'eau obtenue après le traitement simple (désinfection) par la JIRAMA, nous constatons que les valeurs issues du traitement simple sont médiocres par rapport à celles obtenues après nos essais de coagulation-floculation avec le sulfate d'alumine. La JIRAMA Andraikiba n'utilise que de l'hypochlorite de calcium au cours de leur traitement dans le but de la désinfection seulement. Or il y avait quelques paramètres physiques et chimiques (turbidité, MO...) qui n'atteignent pas encore la norme demandée. Ce traitement simple (désinfection) de la JIRAMA n'est plus adéquat à l'état actuel de lac.

CHAPITRE 3 : Proposition d'améliorations pour le traitement de l'eau potable de la JIRAMA Andraikiba

Suivant le code de l'eau, les ressources en eau doivent être protégées et tenir compte de son environnement c'est-à-dire l'Etat nous invite à tenir compte l'importance particulière de la gestion de l'eau. Dans ce chapitre, une discussion sera avancée à propos des problèmes rencontrés sur le site et les entretiens courants. Elle permettra de ressortir des recommandations dans le but d'améliorer la technique du traitement d'eau potable à la JIRAMA Antsirabe. En outre, l'évaluation des résultats obtenus au cours de cette étude et les données de la JIRAMA permettent de proposer des solutions pour une meilleure efficacité du traitement face à l'évolution très rapide du changement des propriétés du lac.

I- ETAT DE LIEU ACTUEL : évaluation des problèmes

La descente sur terrain m'a permis aussi d'avoir les diverses remarques citées ci-après et dont le but est d'apporter de nouvelles visions pour les responsables concernés.

On rencontre plusieurs contrefaits (problèmes) concernant le lac et ses environnements, sur le site de production de l'eau. Mais en général, ils peuvent se classer en quatre types :

- Problèmes de sécurité
- Problèmes sur la production
- Problèmes face à l'environnement
- Et les autres problèmes qui ne sont pas inclus dans les trois premiers.

1. Problèmes liés à la sécurité

Les problèmes liés à la sécurité concernent principalement à la sécurité du personnel, du site et les matériels tournants.

- Le lac (site de production d'eau) est libre accessible au public. Il n'est pas protégé face aux activités humaines (pêche illicite, baignade,...) : facteurs de pollutions, d'érosion, et de tarissement. Il n'y a pas de frais de visite ou du ticket pour y accéder.

- Les installations de la JIRAMA sur ce site ne sont pas aussi sécurisées car le domaine n'est pas clôturé, aucune délimitation exacte, donc accessible aussi aux tiers (tout le monde peut y traverser).

Face à cette circonstance :

- ☞ Il peut se produire certains actes de banditisme, vandalisme, et même de vol aux matériels utilisés par la société.

- ☞ Les agents de la JIRAMA qui travaillent là-bas ne sont pas en sécurité surtout la nuit, en cas d'urgence : arrêt de fonctionnement de la pompe doseuse, ajout des produits, et arrêt d'urgence. Parfois, le garde poste joue à la fois le rôle de sécurité et responsable du bon fonctionnement de la production.

2. Problèmes liés à la production

- Pour le captage, le problème repose sur l'environnement et ses alentours :

Comme le lac est accessible au public ; les habitants aux alentours y lavent leur linge et font tous ses besoins, d'où la qualité du ressource se dégrade de plus en plus grâce aux divers polluants.

Voici une analyse qui montre la dégradation de la qualité du lac :

- Cas de 21 février 2015

Tableau 6- Paramètres organoleptiques de l'eau brute du lac (21/02/15)

Paramètres	Examen au Laboratoire	V.M.A/N.M
ASPECT	Limpide	Limpide
ODEUR	Absence	Absence
COULEUR	Peu claire	Incolore

Tableau 7- Paramètres physico-chimiques de l'eau brute du lac (21/02/15)

Paramètres	Unité	Examen au Laboratoire	V.M.A/N.M
TEMPERATURE	°C	20	<25
CONDUCTIVITE A 20°C	µS/cm	87,9	<3000
TURBIDITE	NTU	1,7	<5
pH		7,6	6,5 - 9,0
MO	mgO ₂ /l	-	2

Source : JIRAMA Antsirabe

- cas de 26 octobre 2017

Tableau 8- Paramètres organoleptiques de l'eau brute du lac (26/10/17)

Paramètres	Examen au Laboratoire	V.M.A/N.M
ASPECT	Trouble	Limpide
ODEUR	Absence	Absence
COULEUR	Jaunâtre	Incolore

Tableau 9- Paramètres physico-chimiques du l'eau brute du lac (26/10/17)

Paramètres	Unité	Examen au Laboratoire	V.M.A/N.M
TEMPERATURE	°C	23,1	<25
CONDUCTIVITE A 20°C	µS/cm	92,2	<3000
TURBIDITE	NTU	34,6	<5
pH		7,71	6,5 - 9,0
MO	mgO ₂ /l	1,8	2

Source : JIRAMA Antsirabe

Interprétation :

On voit ici que la turbidité du lac se dégrade durant ces 2 années, 2015 et 2017; En 2015 sa valeur est encore normale en raison de potabilité (1,7 NTU) mais suite aux diverses actions polluantes, il y avait une augmentation (34,6 NTU) en 2017.

La pollution a un impact négatif sur la qualité de l'eau du lac.

3. Problèmes liés à l'environnement

- La dégradation du sol au niveau des bassins versants grâce au déboisement a un impact négatif sur l'alimentation du lac. L'alimentation paraît très faible, parce qu'en été, seules ses sources et l'eau de pluie alimentent le lac ; et encore en hiver, seulement les sources assurent l'apport en débit. Aujourd'hui, l'eau pompée est encore suffisante, mais si la population locale augmente, le lac risque de ne plus avoir la possibilité d'alimenter les populations tout entière.

- Il se peut que des matières fécales, des produits chimiques dus au lessivage, au lavage des récipients et tout autre contenant des produits toxiques se déversent dans l'eau à cause de la présence d'habitation tout autour et qu'il n'y a pas de bloc sanitaire (WC et douche) ainsi que des bassins de lavoir ; et des touristes qui s'y promènent.

- Changement climatique

A cause de la dégradation de l'environnement et du changement climatique dans la région, une variation subite des caractéristiques physiques et chimiques ainsi bactériologiques est observée dans le lac.

A une certaine période de l'année au début du mois de mai jusqu'à la fin du mois d'août, (mais il est très important en mi-juillet), la qualité de l'eau change suivant les conditions climatiques (réchauffement) à cause du « phénomène de renversement » dans le lac Andraikiba. La température de l'eau de lac est plus élevée en surface qu'en profondeur, sans source d'eau chaude. La forte stratification explique ce fait étonnant.

★ Phénomène de renversement : [17]

Les lacs ne représentent pas une masse d'eau uniforme. En fait, ce sont des systèmes extrêmement complexes et peu homogènes. Les propriétés physiques effectives d'un lac, comme sa profondeur, sa forme et la température de l'eau, accentuent cette complexité au moyen de facteurs comme la sédimentation et la circulation de l'eau. Les lacs sont des systèmes dynamiques qui changent au cours d'une année ainsi que d'une année à l'autre. L'eau à l'intérieur d'un lac se déplace à l'intérieur de la colonne d'eau (de la surface au fond) de même que sur la longueur du lac (des courants de déversement aux courants de débordement). Au cours d'une année, il est possible que des couches d'eau ayant des températures et des concentrations d'oxygène différentes

se forment dans les lacs de plus de cinq à sept mètres de profondeur. C'est ce qu'on appelle la stratification thermique : elle est due aux changements dans la densité de l'eau à des températures différentes. Les eaux des lacs peu profonds, toutefois, se mélangent plus facilement et évitent une stratification. D'une saison à l'autre, les températures du lac changent et créent un régime cyclique qui se répète d'année en année.

Dans un lac présentant une stratification thermique, lorsque la surface de l'eau refroidit en hiver, l'eau plus dense et plus chaude de la surface s'enfonce pour se mêler à l'eau plus froide et plus profonde en profondeur. L'eau du lac se mélangera ou se brassera plus facilement, ramenant à la surface de l'eau dépourvue d'oxygène des profondeurs et alimentant en oxygène les sédiments qui se décomposent au fond ; c'est ce qu'on appelle « Phénomène de renversement d'un lac ».

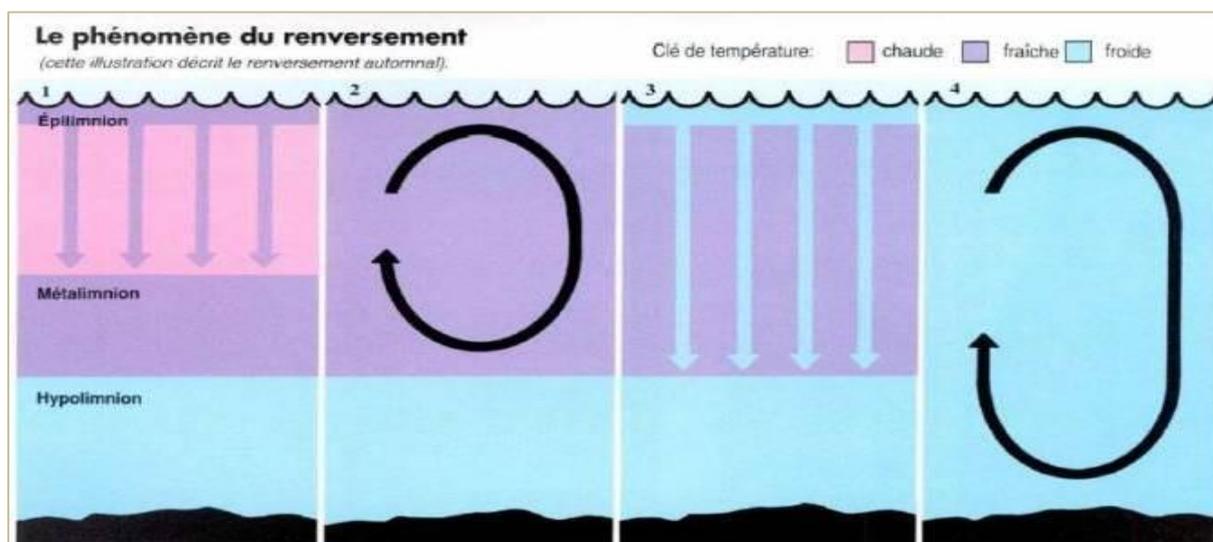


Figure 8- Phénomène du renversement

Source : Google photos

Ses impacts

Le lac renferme beaucoup de matières organiques, sa couleur se dégrade. La production d'eau potable est difficile durant cette période du phénomène de renversement dans le lac. Or, la station de pompage n'a ni flocculateur, ni décanteur pour mieux traiter l'eau qui est polluée naturellement et alors la société JIRAMA est forcée de distribuer souvent de l'eau non potable pendant cette saison.

Voici une valeur d'analyse physico-chimique et organoleptique de l'eau traitée à la sortie de la station de traitement le 17 juillet 2013

- Cas de 17 juillet 2013

Tableau 10- Paramètres organoleptiques de l'eau traitée du lac (17/07/13)

Paramètres	Examen au Laboratoire	V.M.A/N.M
ASPECT	Trouble	Limpide
ODEUR	Absence	Absence
COULEUR	Légèrement jaunâtre	Incolore
SAVEUR DESAGREABLE	Présence de chlore	Absence

Tableau 11- Paramètres organoleptiques de l'eau traitée du lac (17/07/13)

Paramètres	Unité	Examen au Laboratoire	V.M.A/N.M
TEMPERATURE	°C	13,7	<25
CONDUCTIVITE A 20°C	µS/cm	92,1	<3000
TURBIDITE	NTU	12,8	<5
pH		7,45	6,5 - 9,0
MO	mgO ₂ /l	1,6	2

Source : JIRAMA Antsirabe

Interprétation :

L'eau distribuée par la JIRAMA Antsirabe à cette saison n'est pas conforme à la norme. Le traitement simple n'est plus efficace dans cette situation. La solution adoptée par la JIRAMA est de diminuer la production à Andraikiba et mélanger l'eau décantée dans le réservoir d'Ivohitra avec les eaux produites par les stations gravitaires de Marofangady I et II, d'Ambohitsokina pour réduire la turbidité de l'eau distribuée dans la ville d'Antsirabe et ses périphéries.

4. Autres problèmes

- Le non-respect de tabou suivant l'historique du lac entraîne des accidents et noyades, entraînant la décomposition du corps humain et de cadavres d'animaux après.

II- PROPOSITIONS DE SOLUTIONS

1- Part de la société JIRAMA :

a. Besoins en renforcement des capacités

- Afin de cerner les compétences à acquérir ou à améliorer pour assurer que la capacité d'exécution de la performance au travail soit suffisante, le renforcement de capacité de tous les personnels concernés (surtout agents de station) est indispensable en faisant, un contrôle systématique et périodique pour éviter la monotonie (routine) sur leur travail surtout pendant la période critique (maladie épidémique : peste, choléra, rougeole ; saison cyclonique...).
- La société doit surveiller l'application des règlements intérieurs. Par exemple : le personnel-garde doit rejoindre son poste après avoir fermé toutes les portes, au plus tard à 18 h 00 ; et il ne doit pas y sortir avant 06 h 00 sauf en cas d'urgence : arrêt de fonctionnement de la pompe doseuse, ajout des produits, et arrêt d'urgence.

b. Amélioration de la sécurité du site

- Pour une meilleure sécurité et une meilleure surveillance du bon fonctionnement des matériels tournants de la station de pompage, nous proposons d'attribuer ces activités à deux agents différents, car le cumul de toutes les tâches correspondantes est une source d'insécurité globale et de mal gestion de travail sur le site.
- Renforcement de la protection du site c'est-à-dire mise en place des infrastructures appropriées comme aux autres usines (Clôture blindé, sirène, caméra de surveillance, panneau d'indication et signalisation, accès en cas d'urgence,...).

c. Assainissement sur le site

- La société devra disposer de laboratoire d'analyse physico-chimique et bactériologique de l'eau à la station de production à Andraikiba, pour bien assurer le contrôle de la qualité et de servir en cas d'urgence (saison du changement de la propriété du lac).

- Garder toujours la propreté et la salubrité des installations (salle de machine et du traitement) en balayant et lavant tout à l'intérieur au moins deux fois par jour parce que les boues et débris dans la salle de stockage peuvent se mélanger avec les hypochlorites surtout le sel marin dans les sacs.

- Pour assurer le bon fonctionnement de tous les appareils et machines, aussi pour garder la qualité et la quantité de l'eau produite, des entretiens et maintenances s'avèrent nécessaires. La maintenance des matériels tournants doit être effectuée suivant un planning préétabli, ce qui rend rare le dépannage et le remplacement des matériels à la station de pompage Andraikiba. Dans le cas général, la JIRAMA possède des matériels de rechange en cas d'urgence, et tous les matériels sont assurés en cas d'incident (explosion, inondation...).

- Construire de nouveau bac à réactifs pour éviter la rupture d'adduction des produits car si on fait laver l'un, l'autre peut accessible encore et vice versa. Faire un lavage périodique de ce bac pour éviter l'accumulation d'impuretés de NaClO et de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ utilisés, et de boues transportées par le vent ou les agents, au moins 2 ou 3 fois par semaine.

d. Amélioration du mode de traitement

- Suite aux résultats obtenus au cours de notre étude expérimentale, la société devra utiliser en permanent comme produit additif avec l'hypochlorite de calcium, le « sulfate d'alumine » pour le traitement l'eau en appliquant le processus de coagulation-floculation (traitement de clarification). Le traitement simple (désinfection) devrait être remplacé par un traitement complet (coagulation-floculation, décantation, filtration, désinfection).

2- Part de la collectivité :

☆ Tenir compte du code de l'eau (l'eau doit être protégée qualitativement et quantitativement) : l'Etat avec ses partenariats devront sensibiliser la population active à l'importance de la ressource en eau et ses usages avec ses propretés, aussi en organisant d'un reboisement périodique sur ce site (2 à 4 fois par an). De trouver un bon type de plante comme des « Paulownias » en raison de son efficacité en matière d'infiltration et de sa croissance rapide, pour favoriser la fixation de la racine au sol contre l'érosion qui dégrade les bassins versants, participent à l'alimentation du lac. Qu'il faut

avoir des racines suffisantes pour que l'eau puisse s'infiltrer et filtrer par le sol avant d'entrer au lac.

- Etant un site touristique, la commune urbaine Antsirabe devra construire des blocs sanitaires autour du lac (WC, douche) réservé pour les visiteurs et aux gens qui ne l'ont pas à leur domicile.

- La collectivité aussi devra être construire des lavoirs avec des canaux d'évacuation des eaux usées ainsi que son lieu de déversement, pour pouvoir maîtriser les déversements des divers polluants (détergents,...) provenant des activités humaines surtout domestiques, dans le lac.

- La collectivité devra mettre des bacs à ordures pour récupérer les déchets ménagers tels que les plastiques, et pour maintenir la propreté du milieu.

☆ Plan pour la sécurité

- L'Etat doit mettre en place aussi la police des eaux pour contrôler le contrefait et le verbaliser les délits en donnant aussi des punitions pour ceux qui ne suivent pas les règles.

- L'accès à l'entrée du lac doit être conditionné c'est-à-dire avoir une autorisation spéciale (comme de ticket,...).

Conclusion

En conclusion, si tous les êtres humains n'ont pas accès à l'eau potable et que tant de personnes en souffrent et en meurent, c'est parce que tous les pays n'ont pas les mêmes infrastructures, et le même niveau de développement. Dans le monde, l'eau est mal répartie et la faire parvenir jusqu'aux endroits demandés est très difficile dans certains pays.

Le lac Andraikiba est considéré parmi la source en eau potable de la ville d'Antsirabe et c'est la société Jiro sy Rano Malagasy qui s'en charge de son traitement mais son avenir reste critique face aux diverses perturbations.

La présente étude nous a permis de constater vivement et avec justification la dégradation de la qualité du lac. Les problèmes sont causés principalement par les diverses activités de la population (agents polluants) sur le lac. L'étude aussi nous a permis de conclure que le système de traitement actuel de la JIRAMA n'est plus efficace à 100 % car pour certaine période de l'année, le résultat de traitement indique le non-respect de la norme prise en compte.

Au cours de cette étude alors, nous avons proposé des solutions d'amélioration de système d'exploitation d'eau potable à Antsirabe. La qualité de l'eau produite pourrait être améliorée par le mode de traitement comportant : le prétraitement, la coagulation-floculation, la décantation, la filtration et enfin la désinfection. Une adoption d'une nouvelle gestion faciliterait la surveillance de la qualité de l'eau au niveau des ouvrages au sein du site.

Références bibliographiques et webographiques

- [1] : **1, Licence STE : Biochimie. L'eau.Cours, mai 2017**
- [2] : **L'ORE - Observatoire Régional de l'Environnement.** L'eau en Poltou-Charentes. *Qu'est ce qu'une eau potable ?* Juillet 2016.
- [3] : *La production et le traitement des eaux destinées à l'alimentation et à la préparation de denrées alimentaires.* **AGENCE DE L'EAU SEINE-NORMANDIE.** [éd.] Emmanuel JESTIN. s.l. : Direction des Bocages Normands 1, rue de la Pompe 14200 Hérouville-Saint-Clair. jestin.emmanuel@aesn.fr.
- [4] : **Pr SALGHI, Rachid.** *CHIMIE DES EAUX.* s.l. : Ecole Nationale des Sciences Appliquées - AGADIR.
- [5] : **Jean BOYER,** Précis d'hygiène et de médecine préventive. Paris, 1967
- [6] : **L'EAU DANS TOUS SES ETATS.** *Le cycle de l'eau.* s.l. : Texte extrait de "vive l'eau", Ministère de l'Ecologie.
- [7] : **RanEAU.** *La gestion intégrée des ressources en eau à Madagascar.* Fianarantsoa : s.n., 15 - 16 novembre 2011. pp. 5 - 6.
- [8] : *2,1 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable salubre.* **UINCEF | pour chaque enfant.** 12 juillet 2017.
- [9] : **RanEAU.** Agir pour l'eau et l'assainissement à Madagascar. *Guide pratique pour les acteurs de la coopération décentralisée et non gouvernementale.* mai 2011.
- [10] : **Dr. BESSEDIK, Madani.** *Traitement et épuration de l'eau.* m_bessedik@mail.univ-tlemcen.dz.
- [11] : **Dr. BESSEDIK, Madani.** *Traitement de l'eau II.* mabessedik@yahoo.fr

[12] : **JARID, Houda et AMZIL, Karam** . *OPTIMISATION DE LA FILTRATION SUR SABLE POUR LE TRAITEMENT DES EAUX POTABLES À LA COMPAGNIE MINIÈRE GUEMASSA (CMG)*.

[13] : *Principaux procédés de traitement de l'eau au point d'utilisation*. **protec - traitement des eaux**.

[A] : **aquaportail**. DEFINITION EAUX NATURELLES. [Base de données en ligne]. Format World Wide Web disponible sur: <https://www.aquaportail.com/definition-9354-eaux-naturelles.html>

[B] : *Pollution de l'eau*. **durable, L'encyclopédie du développement**. [Base de données en ligne]. Format World Wide Web disponible sur: [https://www.encyclo-ecolo.com/Pollution de l'eau](https://www.encyclo-ecolo.com/Pollution_de_l'eau)

[C] : **Eau du Maroc**. Les étapes de traitement d'eau potable. *Les différentes étapes d'une filière classique de traitement d'eau potable*. [Base de données en ligne]. Format World Wide Web disponible sur: www.eaudumaroc.com/2017/06/les-etapes-de-traitement-deau-potable.html?m=1

[D] : *Renversement d'un lac*. [Base de données en ligne]. Format World Wide Web disponible sur: <http://www.sentierchassepeche.com>

ANNEXES

- Annexe 1 : La norme de potabilité malagasy

PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES	NORME
Odeur	Absence
Couleur	Incolore
Saveur désagréable	Absence

PARAMETRES PHYSIQUES	UNITE	NORME
Température	°C	<25
Turbidité	NTU	<5
Conductivité	µS/cm	<3000
pH		6,5 – 9,0

PARAMETRES CHIMIQUES	UNITE	NORME	
		MINIMA	MAXIMA
			ADMISSIBLE

ELEMENTS NORMAUX

Calcium	mg/l		200
Magnésium	mg/l		50
Chlorure	mg/l		250
Sulfate	mg/l		250
Oxygène dissous % de saturation	%	75	
Dureté TH	mg/l en CaCO ₃		500

ELEMENTS INDESIRABLES

Matières organiques	mg/l		2 (milieu Alcalin)
			5 (milieu Acide)
Ammonium	mg/l		0,5
Nitrite	mg/l		0,1
Azote total	mg/l		2
Manganèse	mg/l		0,05
Fer total	mg/l		0,5

Phosphore	mg/l		5
Zinc	mg/l		5
Argent	mg/l		0,01
Cuivre	mg/l		1
Aluminium	mg/l		0,2
Nitrate	mg/l		50
Fluore	mg/l		1,5
Baryum	mg/l		1

ELEMENTS TOXIQUES

Arsenic	mg/l		0,05
Chrome total	mg/l		0,05
Cyanure	mg/l		0,05
Plomb	mg/l		0,05
Nickel	mg/l		0,05
Polychloro-biphenyl PCB	mg/l		0
Cadmium	mg/l		0,005
Mercuré	mg/l		0,001

GERMES PATHOGENES ET INDICATEURS DE POLLUTIONS FECALES :

COLIFORMES TOTAUX..... 0 / 100ml

STREPTOCOQUES FECAUX..... 0 / 100ml

COLIFORMES THERMO-TOLERANTS (E.COLI)..... 0 / 100ml

CLOSTRIDIUM SULFATO- REDUCTEUR..... <2 / 20ml

- Annexe 2 : Les photos suivantes illustrent quelques exemples sur les ouvrages existants sur le site d'exploitation et les différents phénomènes qui se passent autour du lac actuellement :



Photo 11- Les moteurs de pompage



Photo 12- Les chambres de vanne



Photo 13- L'antibélier



Photo 14- Pompe doseuse



Photo 15- Linges lavés et étalés au bord du lac



Photo 16- Le baignade des gens sur le lac

Source : Auteur

Table de matières

<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>I</i>
<i>SOMMAIRE</i>	<i>II</i>
<i>GLOSSAIRE</i>	<i>III</i>
<i>LISTE DES ABREVIATIONS, ACRONYMES ET UNITES</i>	<i>IV</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>VI</i>
<i>LISTE DES PHOTOS</i>	<i>VII</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>VIII</i>
Première Partie : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
CHAPITRE 1 : Les eaux naturelles	3
I- DEFINITION [14].....	3
II- LES PROPRIETES SUR L'EAU	3
II-1 Propriétés physiques [1].....	3
II-2 Propriétés chimiques [2], [3].....	3
III- LES DIFFERENTES RESSOURCES DES EAUX NATURELLES [4]	4
III-1- Eaux souterraines	4
III-2- Eaux de surface.....	4
III-3- Eaux des mers et océans.....	5
III-4- Eau de pluie (précipitation) [5].....	5
IV- LE CYCLE DE L'EAU [6]	5
V- LA POLLUTION DE L'EAU [15].....	6
CHAPITRE 2 : L'eau potable et ses étapes de traitement	7
I- L'EAU POTABLE DANS LA VIE HUMAINE	7
Contexte et Problématique [7], [8], [9].....	7
II- PROCEDES DE LA POTABILISATION DE L'EAU	8

1) Introduction [10], [11].....	8
2) Les étapes du traitement complet d'eau potable	8
2-1 Le prétraitement [10], [11].....	8
A- <i>Prétraitement physique</i>	8
1. Le dégrillage	8
2. Le micro tamisage	8
3. Le dessablage	9
4. L'aération	9
B- <i>Préchloration ou pré-oxydation</i> [12]	9
2-2 Le traitement de clarification [10], [11]	9
a) Coagulation	9
b) Flocculation	10
c) La décantation	10
d) La filtration [16].....	11
2-3 Le traitement de finition	11
a. L'affinage [16]	11
b. La désinfection [10].....	12
2-4 Quelques traitements spécifiques de correction des eaux naturelles [13], [11]	13
a) Désinfection par ultra-violet :	13
b) Dénitratation.....	13

Deuxième Partie : ETUDE EXPERIMENTALE..... 14

CHAPITRE 1 : Présentation du domaine d'étude 15

I- QUELQUES INFORMATIONS SUR ANTSIRABE..... 15

II- PRESENTATION DU LIEU D'IMPLANTATION DE LA STATION DU TRAITEMENT DES EAUX POTABLES A ETUDIER 17

II-1- Localisation et Historique

a) Localisation.....

b) Historique.....

II-2- Sa spécificité

II-3- L'activité du lac

II-4- Les environnements aux alentours du lac : LE SUJET D'ETUDE.....

III- PRESENTATION DE LA SOCIETE JIRAMA 19

1) Description

2) Historique

3) Organigramme de la JIRAMA

3- a) Organigramme de la société au niveau national.....

3- b) Organigramme de la DIR JIRAMA Antsirabe

4) Le site d'exploitation des eaux JIRAMA Antsirabe

a- Production d'eau potable : Andraikiba.....

b- La station de pompage de JIRAMA Andraikiba.....

c- Traitement actuel :

CHAPITRE 2 : Matériels et méthodes 28

I – MATERIELS ET METHODES POUR LES ESSAIS DE TRAITEMENTS (JAR-TEST) 28

i- Préparation de coagulant.....

ii- Essais de traitement

a) *Principe*.....

b) *Matériels et réactifs utilisés*.....

II - MATERIELS ET METHODES POUR LES ANALYSES DES EAUX..... 29

1. Analyse physico-chimique de l'eau (analyse standard)

a) Les paramètres physiques

b) Paramètres chimiques

<i>Troisième Partie : RESULTATS ET DISCUSSIONS.....</i>	37
CHAPITRE 1 : Résultats des essais de traitements.....	38
1) Essai du traitement	38
CHAPITRE 2 : Résultats des analyses des eaux brutes et traitées	40
I – Résultats des analyses de l'eau brute et l'eau traitée.....	40
II – Discussion et comparaison des résultats avec ceux du traitement actuel de la JIRAMA	41
CHAPITRE 3 : Proposition d'améliorations pour le traitement de l'eau potable de la JIRAMA	
Andraikiba	42
I- ETAT DE LIEU ACTUEL : évaluation des problèmes.....	42
II- PROPOSITIONS DE SOLUTIONS	48
<i>Conclusion.....</i>	51
<i>Références bibliographiques et webographiques.....</i>	<i>i</i>
ANNEXES	<i>iii</i>
<i>Table de matières.....</i>	<i>vi</i>



Auteur : RAKOTONDRABE Philippe Ny Aina

Courriel : philipperakotondrabe@outlook.fr

GSM : (+261)345104837

Titre du mémoire : « CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA QUALITE DE L'EAU POTABLE DE LA VILLE D'ANTSIRABE : CAS DE LA JIRAMA ANDRAIKIBA »

Nombre de pages : 51 Nombre de figures : 24

Nombre de tableaux : 11 Nombre des annexes : 2

RESUME :

D'après notre étude, la qualité de l'eau du lac Andraikiba se dégrade de plus en plus. Or la JIRAMA l'exploite comme source de la production de l'eau potable pour la ville d'Antsirabe. Le changement climatique et la pollution portent un grand effet néfaste sur le changement de la qualité de l'eau. Il faut toujours sensibiliser les gens à son importance et à la conservation de sa qualité. La qualité de l'eau produite pourrait être améliorée par le mode de traitement comportant : le prétraitement, la coagulation-floculation avec le sulfate d'alumine, la décantation, la filtration et enfin la désinfection. Une adoption d'une nouvelle gestion faciliterait la surveillance de la qualité de l'eau au niveau des ouvrages au sein du site.

Mots-clés : Andraikiba – Eau potable – JIRAMA – coagulation-floculation

ABSTRACT :

According to our study, the water quality of Lake Andraikiba is deteriorating more and more. However, JIRAMA uses it as a source of drinking water production for the city of Antsirabe. Climate change and pollution have a significant negative impact on water quality change. People must always be made aware of its importance and the need to preserve its quality. The quality of the water produced water could be improved by the treatment mode including: pre-treatment, coagulation-flocculation with alumina sulphate, settling, filtration and finally disinfection. A new management approach would facilitate water quality monitoring at the facility level.

TITLE : CONTRIBUTION TO THE IMPROVEMENT OF DRINKING WATER IN ANTSIRABE: CASE OF JIRAMA ANDRAIKIBA

Keys words : Andraikiba – Drinking water – JIRAMA – coagulation-flocculation

ADRESSE DE L'AUTEUR : Lot 0708 E 109 Ambohimena Sud Antsirabe 110 -
MADAGASCAR

★ **Encadreur :** Dr RATSIMBA Marie Hanitriniaina