



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FACULTE DES SCIENCES

MENTION : CHIMIE

Parcours : INGENIERIE EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'EAU
(I.S.T.E.)

MEMOIRE D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME EN
LICENCE D'INGENIERIE EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'EAU

Intitulé :

ETUDE SUR LE CONTROLE ET LA TECHNIQUE DE
LA PRODUCTION D'EAU POTABLE AU NIVEAU DE
LA JIRAMA MANDROSEZA

Présenté le 01 février 2018 par :

- ❖ **ANDRIANIRINA Tahiana Jonathan**
- ❖ **RAKOTOANDIANIMASY Tojo Hervé**

Devant la commission d'examen composée de :

Président : Monsieur RAJAOARISOA Andriamanjato, Maître de Conférences à la
Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo.

Examineur : Monsieur RAVELONA Andry Judicaël, Assistant d'ESR à la Faculté des
Sciences de l'Université d'Antananarivo.

Encadrante : Madame RAVAOMANARIVO Harimisa, Maître de Conférences à la
Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo.



Année universitaire : 2016-2017



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

FACULTE DES SCIENCES

MENTION : CHIMIE

Parcours : INGENIERIE EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'EAU
(I.S.T.E.)

MEMOIRE D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME EN
LICENCE D'INGENIERIE EN SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'EAU

Intitulé :

ETUDE SUR LE CONTROLE ET LA TECHNIQUE DE
LA PRODUCTION D'EAU POTABLE AU NIVEAU DE
LA JIRAMA MANDROSEZA

Présenté le 01 février 2018 par :

- ❖ **ANDRIANIRINA Tahiana Jonathan**
- ❖ **RAKOTOANDIANIMASY Tojo Hervé**

Devant la commission d'examen composée de :

Président : Monsieur RAJAOARISOA Andriamanjato, Maître de Conférences à la
Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo.

Examineur : Monsieur RAVELONA Andry Judicaël, Assistant d'ESR à la Faculté des
Sciences de l'Université d'Antananarivo.

Encadrante : Madame RAVAOMANARIVO Harimisa, Maître de Conférences à la
Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo.



Année universitaire : 2016-2017

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	iii
GLOSSAIRES	iv
LISTE DES ABREVIATIONS	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES TABLEAUX	vii
LISTE DES PHOTOS	viii
INTRODUCTION GENERALE	1
Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
I. GENERALITES SUR L’EAU ET SON TRAITEMENT	3
I.1. Caractéristiques de l’eau	3
I.2. Cycle de l’eau	3
I.3. Normes et paramètres de qualité des eaux	3
I.3.1 Normes	3
I.3.2. Paramètres essentiels de l’eau	5
I.4. Généralités sur le traitement des eaux de surfaces	5
I.4.1. Captage	5
I.4.2. Prétraitement physique	6
I.4.3. Prétraitement chimique	6
I.4.4. Étapes de clarification	6
I.4.5. Désinfection	7
I.4.6. Neutralisation	7
II. PRESENTATION GENERALE DE LA SOCIETE JIRAMA	7
II.1. Historique	7
II.2. Présentation de la société JIRAMA	8
II.3. Organigramme de la JIRAMA	9
II.4. Structure organisationnelle de la société et leurs activités	10
II.4.1. Direction de l’Exploitation d’Eau	10
II.4.2. Département de Production Eau Antananarivo	10
III. DESCRIPTION DE L’USINE ET PROCESSUS DE TRAITEMENT DE L’EAU AU SEIN DU SITE	10
III.1. Station de traitement à Mandroseza I	10
III.1.1. Captage et pompage de l’eau brute	10
III.1.2. Prétraitements physique	11

III.1.3. Méthode de traitement à Mandroseza I	11
III.1.4.Schéma synoptique de traitement à M I	13
III.2. Station de traitement à Mandroseza II	13
III.2.1. Captage et pompage de l'eau brute	13
III.2.2 Méthode de traitement à Mandroseza II	14
III.2.3.Schéma synoptique de traitement à M II	15
Chapitre II : ETUDE EXPERIMENTALE	16
I. ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES.....	17
I.1. Analyses des paramètres physico-chimiques	17
I.1.1. analyses physiques	17
I.1.2. Analyses chimiques	19
I.2. Analyse bactériologique des eaux	22
I.2.1. Prélèvement.....	23
I.2.2. Analyse	23
II .ETUDE DE LA QUALITE DE L'EAU AU NIVEAU DU SITE	25
II.1.Technique d'analyse adoptée pour le contrôle de la qualité des eaux au niveau du centre.....	25
II.1.1. Analyse sommaire	25
II.1.2. Analyse complète	25
II.2. Contrôle de l'efficacité de traitement au niveau des ouvrages	25
III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS	28
III.1. Résultats des analyses sommaires	28
III.1.1. Contrôle de la qualité de l'eau au niveau du Pulsator II	28
III.1.2. Résultat d'analyse des eaux à la sortie MI et MII	29
III.1.3 Résultats d'analyses bactériologiques des eaux	31
III.2. Résultats des analyses complètes	32
III.2.1. Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux brutes	32
III.2.2. Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux traitées à la sortie MI et MII.....	33
CONCLUSION	35
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	36

ANNEXES

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier en premier lieu : Le Grand DIEU tout puissant qui nous a donné le courage, l'énergie, la santé et la volonté pour accomplir ce travail. Nous remercions Monsieur RAZANAPARANY Bruno, Professeur à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, Responsable de la formation ISTE qui nous a soutenus durant toute la formation.

Nous adressons également nos vifs remerciements aux membres du jury qui ont accepté de juger ce mémoire, en particulier :

A Monsieur RAJAOARISOA Andriamanjato, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo. Il nous fait l'honneur de présider ce mémoire.

A Madame RAVAOMANARIVO Harimisa, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, d'avoir pris en charge l'encadrement pédagogique et d'avoir consacré son précieux temps pour notre suivi et notre orientation dans l'évolution de nos travaux.

A Monsieur RAVELONA Andry Judicaël, Assistant d'ESR à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nos remerciements vont aussi à l'endroit de toute l'équipe de la société JIRAMA pour leur accueil sympathique et leur coopération professionnelle tout au long du stage, particulièrement à :

Monsieur RAKOTONANDRAINA Solofo, Chef de Département Production Eau Tana
Monsieur RAKOTOARIVELONANAHARY Bruno, Chef de Services Contrôle Qualité Physico-chimique/SCQPC au laboratoire de la JIRAMA à Mandrozeza,
Monsieur ANDRIAMIALY Faralahy Lalaina, Chef de groupe Analyse Physico-chimique au sein du service SCQPC.

Nous saisissons l'opportunité qui nous est donnée pour remercier nos parents, nos familles et nos amis et ceux qui, de près ou de loin, nous ont soutenus et encouragés au cours de la réalisation de ce mémoire.

GLOSSAIRE

Adsorption

L'adsorption est la rétention d'un composé à la surface d'un solide. Ce principe physique s'illustre lors de l'utilisation de charbon actif.

Agitateur

Dispositif utilisé dans l'épuration des eaux usées pour introduire un réactif ou augmenter l'oxygénation par agitation mécanique

Anion

Un anion est un ion avec une charge négative, c'est à dire qu'il possède un électron supplémentaire.

Catalyseur

Substance ou composé augmentant la vitesse d'une réaction chimique sans modification ni destruction au cours du processus.

Coagulant

Produit chimique ou organique utilisé afin de favoriser la coagulation des colloïdes contenus dans l'eau à traiter. On peut citer comme coagulant : le sulfate d'alumine, l'aluminate de sodium, le chlorure ferrique.

Colloïdes

On appelle colloïdes les particules de très petite dimension contenues dans l'eau, dont le diamètre fait entre 1 et 100 nanomètres responsables entre autre de la couleur et de la turbidité des eaux de surface. La coagulation-floculation a pour but de provoquer la précipitation de telles particules.

Conductivité

La conductivité d'une eau est sa capacité à conduire plus ou moins bien un courant électrique la traversant. La conductivité est proportionnelle à la concentration d'ions présent dans la solution.

Floculant

Substance qui a la propriété de flocculer, ou d'agréger sous la forme de flocons, des particules de colloïdes en suspension dans un solvant.

Précipitation

Passage à l'état solide de composés dissous dans une solution.

LISTE DES ABREVIATIONS

AFNOR : Association Française pour la norme

ASR : Anaérobies sulfito-réducteurs

DAGBD : Département Administratif et Gestion Base de Données

DATE : Département Appui Technique à l'Exploitation

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DEXO : Direction de l'Exploitation Eau

DGRC : Département Gestion Réseaux et Comptage

DGRE : Département Gestion des Ressources en Eau

DPOA : Département de Production eau Antananarivo

DQO : Département Qualité Eau

E-Coli : Escherichia Coli

E.D.T.A : Acide Ethylène Diamine Tétraacétique.

IPM : Institut Pasteur de Madagascar

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

MI et MII : Mandroseza I et Mandroseza II

M.O : matières organiques

NTU : Unité Nephelométrique de Turbidité

pH : Potentiel hydrogène

SEM : Société des Energies de Madagascar

SMEE : Société Malagasy des Eaux et Electricité

TA : Titre alcalimétrique

TAC : Titre alcalimétrique Complet

TH : Titre hydrotimétrique

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Processus de cycle de l'eau	3
Figure 2 : Organigramme de la Jirama	9
Figure 3 : Synoptique de la station MI	13
Figure 4 : Synoptique de la station MII	15

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Normes de potabilité Malagasy	4
Tableau 2 : Récapitulatif des matériels et réactifs utilisés pour les analyses physico-chimiques.....	22
Tableau 3 : Résumé des procédures à suivre pour la recherche de germes tests	24
Tableau 4 : Récapitulatif des analyses sommaires et des analyses complètes.....	26
Tableau 5 : Evaluation de l'efficacité de traitement au niveau du Pulsator II.....	28
Tableau 6 : Analyse sommaire des eaux à la sortie MI et MII.....	30
Tableau 7: Résultats d'analyses bactériologiques des eaux traitées à la sortie MI et MII.....	31
Tableau 8: Résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de l'Ikopa	32
Tableau 9 : Résultats d'analyses physico-chimiques du lac Mandroseza	33
Tableau 10: Résultats d'analyses chimiques des eaux traitées à la sortie MI et MII.....	34

LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Décanteur Accelator.....	12
Photo 2 : Décanteur Pulsator I.....	12
Photo 3 : Décanteur Pulsator II	12
Photo 4 : Décanteur type Prat-Daniel.....	12
Photo 5 : saturateur de chaux M II.....	14
Photo 6 : Ionomètre	17
Photo 7 : Conductimètre.....	18
Photo 8 : Turbidimètre	19
Photo 9 : Plaquette de comparaison.....	20

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une des ressources les plus importantes de la planète. Elle est la source principale et originelle de toute vie. En revanche, l'alimentation en eau potable peut être limitée en quantité et/ou en qualité. Suite d'un manque de planification et des pratiques irresponsables, les activités de l'homme favorisent non seulement le tarissement des ressources en eau mais aussi la pollution des eaux de surface, contribuant ainsi au déficit global en eau potable. Dans le cas de la ville d'Antananarivo, la JIRAMA se sert du lac de Mandrozeza pour alimenter la capitale et ses environs en eau. Elle traite les eaux en provenance du lac, qui est alimenté par la rivière d'Ikopa, pour produire de l'eau potable. Cependant, en plus de la croissance démographique, les installations actuelles de Mandrozeza ont du mal à assurer l'alimentation de la ville en raison d'une baisse de qualité de l'eau par les différents rejets qui se rejettent dans le lac. Par ailleurs, ces rejets peuvent être une source de maladies dangereuses pour les consommateurs en cas de manque d'efficacité de traitement au niveau des ouvrages.

De ce fait, l'eau issue du lac doit être soigneusement traitée à l'usine de traitement dans le but de la rendre salubre et exempte de tout germe pathogène préservant ainsi les consommateurs des éventuelles maladies. C'est pour cela que la présente étude se focalise sur les techniques adoptées pour permettre d'une part le contrôle de la qualité des eaux au niveau du centre et d'autre part l'efficacité de traitement au niveau des différents ouvrages de la JIRAMA.

L'étude consiste à assurer le bon fonctionnement des procédés utilisés par la JIRAMA en vue de rendre l'eau issue du lac consommable et des différentes mesures adaptées pour que les qualités attendues d'une eau de boisson saine soient préservées. De ce fait, l'autocontrôle de la qualité de l'eau par des analyses sommaires et complètes est nécessaire afin d'atteindre les objectifs.

Le stage au sein de la JIRAMA Mandrozeza a permis de mieux cerner l'efficacité de traitement par des essais en laboratoire basés sur la connaissance des caractéristiques physico-chimiques de l'eau brute du lac et la détermination de la dose optimale des réactifs à injecter pour la traiter (essai de floculation), en plus de connaître les rôles spécifiques de chaque ouvrage au niveau du site.

Cette étude comporte deux parties. L'étude bibliographique fait l'objet de la première partie et présente la description de la société JIRAMA, tandis que la seconde partie concerne l'étude expérimentale contenant la méthodologie d'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques et l'étude sur la qualité de l'eau depuis la rivière jusqu'à la sortie d'usine.

Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. GENERALITES SUR L'EAU ET SON TRAITEMENT

I.1. Caractéristiques de l'eau

L'eau ne se transforme pas, sa formule reste inchangée (H₂O), mais elle est très fragile et peut être facilement contaminée. Elle se régénère à un moment donné et demande 100 ans pour faire la santé de la nappe phréatique [4].

I.2. Cycle de l'eau

Sous l'effet du soleil, l'eau s'évapore et se condense dans l'atmosphère formant ainsi un nuage. Elle retombe ensuite sous forme de précipitation puis s'écoule et s'infiltrate dans le cours d'eau, avant de s'évaporer à nouveau, c'est le cycle de l'eau. La figure 1 qui suit, illustre les différentes étapes de transformation que subit l'eau pour former un cycle [5].

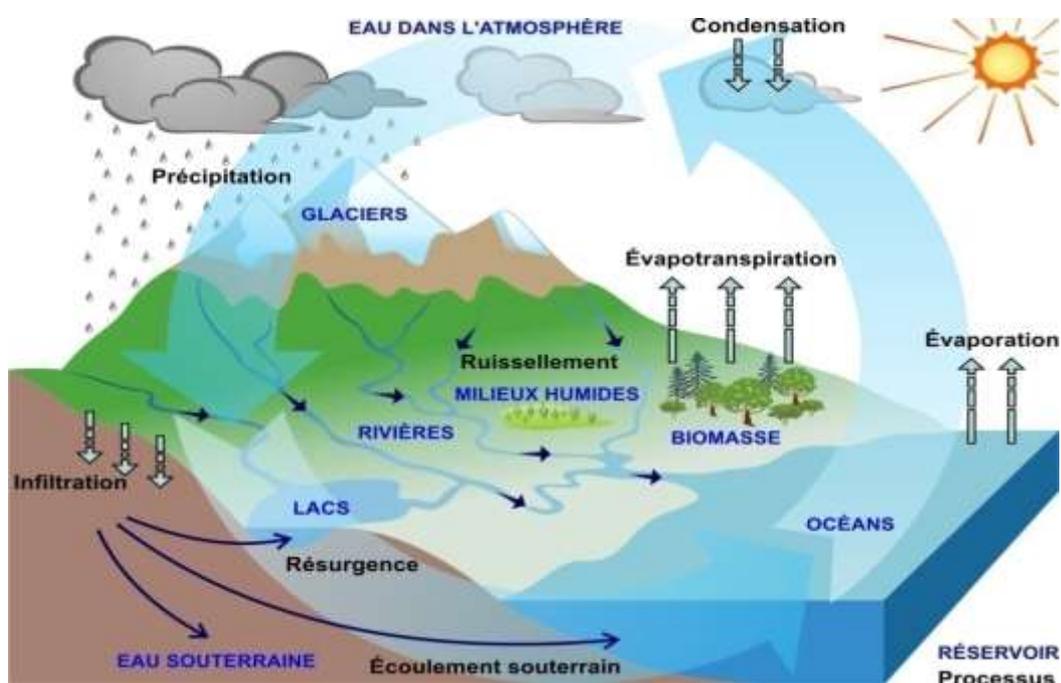


Figure 1 : Processus de cycle de l'eau

I.3. Normes et paramètres de qualité des eaux

I.3.1 Normes

Une eau de consommation doit répondre à des critères de qualités très strictes fixées par des normes de potabilité. Selon l'article 38 du code de l'eau Malagasy fixé par le décret N° 2004-635 du 15 juin 2004, « l'eau destinée à la consommation humaine doit répondre à des normes organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques » [3].

Les critères de potabilité d'eau Malagasy destinée à la consommation humaine sont mentionnées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Norme de potabilité Malagasy

PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES	NORME
ODEUR	ABSENCE
COULEUR	INCOLORE
SAVEUR DESAGREABLE	ABSENCE

PARAMETRES PHYSIQUES	UNITE	NORME
TEMPERATURE	°C	<25
TURBIDITE	NTU	<5
CONDUCTIVITE	µS/cm	<3000
pH		6,5 - 9,0

PARAMETRES CHIMIQUES	UNITE	NORME	
		MINIMA	MAXIMA ADMISSIBLE
ELEMENTS NORMAUX			
CALCIUM	mg.L ⁻¹		200
MAGNESIUM	mg.L ⁻¹		50
CHLORURE	mg.L ⁻¹		250
SULFATE	mg.L ⁻¹		250
OXYGENE DISSOUS % DE SATURATION	%	75	
DURETE TH	mg.L ⁻¹ en CaCO ₃		500
ELEMENTS INDESIRABLES			
MATIERES ORGANIQUES	mg.L ⁻¹		2 (milieu Alcalin) 5 (milieu Acide)
AMMONIUM	mg.L ⁻¹		0,5
NITRITE	mg.L ⁻¹		0,1
AZOTE TOTAL	mg.L ⁻¹		2
MANGANESE	mg.L ⁻¹		0,05
FER TOTAL	mg.L ⁻¹		0,5
PHOSPHORE	mg.L ⁻¹		5
ZINC	mg.L ⁻¹		5
ARGENT	mg.L ⁻¹		0,01
CUIVRE	mg.L ⁻¹		1
ALUMINIUM	mg.L ⁻¹		0,2
NITRATE	mg.L ⁻¹		50
FLUORE	mg.L ⁻¹		1,5
BARYUM	mg.L ⁻¹		1
ELEMENTS TOXIQUES			
ARSENIC	mg.L ⁻¹		0,05
CHROME TOTAL	mg.L ⁻¹		0,05
CYANURE	mg.L ⁻¹		0,05
PLOMB	mg.L ⁻¹		0,05
NICKEL	mg.L ⁻¹		0,05
POLYCHLORO-BIPHENYL PCB	mg.L ⁻¹		0
CADMIUM	mg.L ⁻¹		0,005
MERCURE	mg.L ⁻¹		0,001

Qualité microbiologique

Germes pathogènes et indicateurs de pollutions fécales

COLIFORMES TOTAUX	0 / 100ml
STREPTOCOQUES FECAUX	0 / 100ml
COLIFORMES THERMO-TOLERANTS (E.COLI)	0 / 100ml
CLOSTRIDIUM SULFITO-REDUCTEUR	<2 / 20ml

I.3.2. Paramètres essentiels de l'eau

Pour décrire la qualité d'eau potable, trois paramètres sont essentiellement employés : les paramètres organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques.

I.3.2.1. Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques sont les propriétés de l'eau telles que la couleur, l'odeur, le goût et l'aspect qui sont perceptibles par les organes sensoriels. On considère que les paramètres organoleptiques n'aient aucune incidence sur la santé.

I.3.2.2. Paramètres physico-chimiques

Les substances chimiques, dites indésirables ou toxiques, autres que les sels minéraux contenues naturellement dans les eaux doivent impérativement être en très faibles quantités. En effet, l'eau peut contenir des éléments toxiques contenant un certain nombre d'éléments chimiques comme le plomb, l'arsenic, les cyanures, le sélénium ainsi que des éléments indésirables tels que le cuivre, le zinc et les nitrates.

Pour les paramètres physiques, ils sont associés à la qualité de l'eau pour l'usage intérieur. Ces paramètres sont la turbidité, la température, la conductivité et le pH.

I.3.2.3. Paramètres bactériologiques

La majorité des microorganismes pathogènes (virus, bactéries ou protozoaires pouvant causer des maladies) susceptibles de se trouver dans l'eau proviennent de déjections humaines ou animales. Or l'eau ne doit contenir ni parasite, ni virus, ni bactérie pathogène. La présence de ces bactéries dans l'eau a pour origine une pollution de la ressource, un dysfonctionnement du traitement de potabilisation.

I.4. Généralités sur le traitement des eaux de surfaces

I.4.1. Captage

La première étape de traitement est commencée par le captage de l'eau brute, suivi de prétraitement physique ou chimique.

I.4.2. Prétraitement physique

Le prétraitement physique a pour but d'extraire à l'eau brute la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature et la dimension gênent le traitement ultérieur. Son but est d'éliminer les éléments gazeux, solide ou en suspension dans l'eau brute ou formés au cours de traitement.

Le prétraitement physique suit deux étapes bien définies, le dégrillage et le dessablage.

- **Dégrillage**

Le dégrillage est nécessaire pour protéger les ouvrages en aval de la prise d'eau contre l'arrivée d'objet ou de corps flottant susceptibles de perturber ou d'interrompre leur fonctionnement. L'eau brute passe à travers la grille composée de barreaux placés verticalement. L'espace entre les barreaux varie de 10 à 100 mm. Le nettoyage des grilles est réalisé de façon manuelle ou automatique avec une vitesse de passage 0,6 à 1 m.s⁻¹.

- **Dessablage**

Le dessablage est l'enlèvement de gravier sable et minéral non colloïdale de taille supérieure à 200 micromètre (200µm) afin d'éviter les dépôts dans les canaux et les conduites et de protéger les pompes et d'autres équipements contre l'abrasion et la surcharge des stades de traitement ultérieur.

I.4.3. Prétraitement chimique

Dans la plupart du temps, le prétraitement chimique est la pré-chloration ou l'ajustement du pH. Elle a pour but de protéger la conduite d'eau brute contre la prolifération des algues et la corrosion bactérienne, d'améliorer la floculation puis d'éliminer l'ammonium et d'optimiser la désinfection.

Il se fait aussi par injection de produit chloré soit au niveau du point de captage soit à l'arrivée des ouvrages de traitement.

Aussi, l'ajustement du pH se fait par injection de base ou d'acide.

I.4.4. Étapes de clarification

Le traitement de l'eau brute s'effectue de façon plus ou moins complète suivant la nature et la variété des défauts de qualité de l'eau à traiter.

La clarification se déroule en trois étapes : la coagulation-floculation, la décantation et la filtration.

I.4.4.1. Coagulation –Floculation

La coagulation et la floculation sont les processus qui permettent l'élimination des colloïdes. La coagulation consiste à les déstabiliser. Il s'agit de neutraliser leurs charges électrostatiques de répulsion pour permettre leur rencontre. La floculation rend compte de leur agglomération et permet la formation et le grossissement des précipités qui sont ensuite éliminés par décantation et/ou filtration [1].

I.4.4.2. Décantation

La décantation est un procédé de séparation dont le but est l'élimination de plus grand nombre de particule possible. C'est aussi la sédimentation par gravité des floes au fond des ouvrages appelés « décanteurs ». En d'autre terme, elle a pour but d'éliminer sous l'action de la pesanteur la majeure partie des matières en suspension dans l'eau, soit qu'elle existe dans l'eau brute, soit qu'elle se forme au cours de la floculation.

I.4.4.3. Filtration

La filtration est un procédé qui consiste à faire passer l'eau décanté à travers un lit filtrant pour que ce dernier retienne les floes formés au cours de la floculation.

I.4.5. Désinfection

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation avant la distribution. Elle permet d'éliminer tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau [2].

Le principe de la désinfection est de mettre en contact un désinfectant à une certaine concentration pendant un certain temps avec une eau supposée contaminée.

Il peut cependant subsister dans l'eau quelques germes banals, car la désinfection n'est pas une stérilisation.

I.4.6. Neutralisation

La neutralisation consiste à l'ajustement du pH par ajout de réactif (chaux) afin d'éliminer le CO₂ en excès et de protéger les conduites contre la corrosion.

II. PRESENTATION GENERALE DE LA SOCIETE JIRAMA

II.1. Historique

La société fut créée le 17 octobre 1975. Elle résulte de la fusion de deux sociétés qui exerçaient des activités similaires : la Société Malagasy des Eaux et Electricité (SMEE) et la

Société des Energies de Madagascar (SEM). La JIRAMA produit, transporte et distribue l'électricité partout à Madagascar, en même temps qu'elle assure l'alimentation en eau potable et industrielle à travers le pays.

L'usine MI est fonctionnelle depuis 1975, elle produit 100 000 m³ d'eau potable par jour tandis que l'usine MII est fonctionnelle depuis 1993 et produit 60 000 m³ d'eau potable.

II.2. Présentation de la société JIRAMA

La société JIRAMA est la compagnie nationale d'eau et d'électricité de Madagascar.

C'est aussi une société anonyme de droit commun dont le Capital est détenu entièrement par l'Etat Malagasy. Elle est dirigée par un conseil d'administration comprenant le directeur général, le conseil d'administration qui est composé des représentants de l'Etat notamment des ministères de tutelle et des représentants des employés. Le Directeur général est nommé par le ministère chargé de l'énergie. L'entreprise déploie parallèlement une organisation géographique faite des directions interrégionales dans chacune des six provinces de Madagascar.

II.3. Organigramme au niveau de la JIRAMA

L'organigramme au sein de la JIRAMA est présenté sur la figure 2.

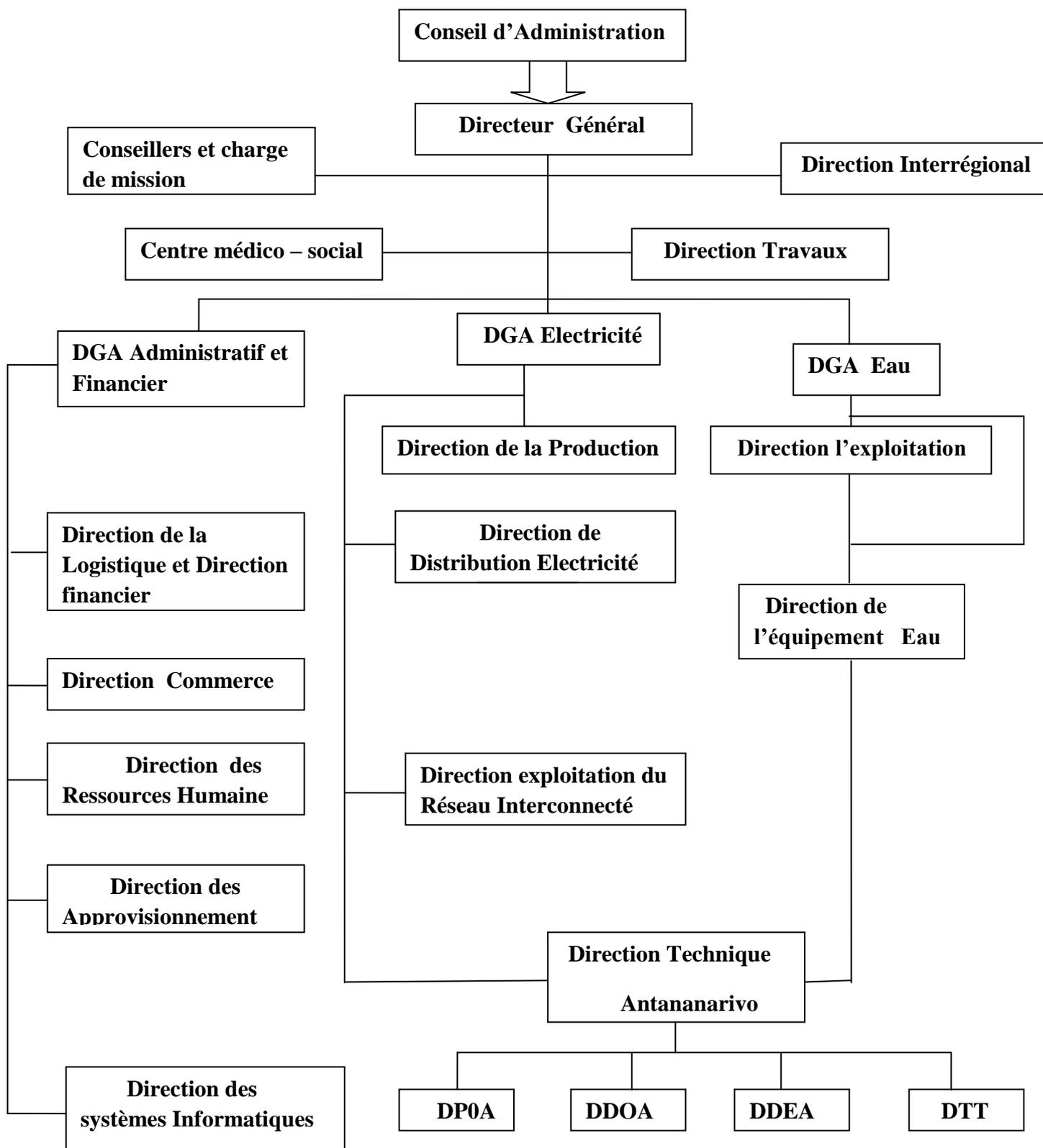


Figure 2 : Organigramme de la JIRAMA

II.4. Structure organisationnelle de la société et leurs activités

II.4.1. Direction de l'Exploitation Eau (DEXO)

La DEXO est une des directions assurant le bon déroulement de l'activité eau de JIRAMA : elle a comme principale mission d'assurer d'une manière continue et cohérente la distribution d'eau potable dans tous les centres d'exploitation.

Afin de mener à bien la mission qui lui est assignée, la DEXO renferme cinq départements :

- Département Gestion des Ressources en Eau (DGRE)
- Département Appui Technique à l'Exploitation (DATE)
- Département Qualité Eau (DQO)
- Département Gestion Réseaux et Comptage (DGRC)
- Département Administratif et Gestion Base de Données (DAGBD)

II.4.2. Département de Production eau Antananarivo (DPOA)

Le Département de Production eau Antananarivo assure le bon fonctionnement des deux stations MI et MII à Mandroseza ainsi que les autres stations situées aux environs d'Antananarivo.

Il assure la conduite de traitement de chargement des réactifs (sulfate d'alumine, Chaux, hypochlorite de calcium) et le suivi du fonctionnement et maintenance des ouvrages décanteurs, filtres, bâches, ...et matériels tournant (diverses pompes).

III. DESCRIPTION DE L'USINE ET PROCESSUS DE TRAITEMENT DE L'EAU AU SEIN DU SITE

La station Mandroseza est une usine qui alimente la ville Antananarivo et les alentours par l'intermédiaire de la rivière d'Ikopa et captée par pompage vers le lac Mandroseza. Ce dernier s'étend sur 47 ha et admet une profondeur moyenne de 3 m. C'est un lac artificiel utilisé comme bassin de pré décantation naturelle et réservoir d'eau brute d'une manière générale.

L'usine de traitement d'eau potable de Mandroseza est équipée par deux stations principales : Mandroseza I et Mandroseza II.

III.1. Station de traitement à Mandroseza I

III.1.1. Captage et pompage de l'eau brute

Cette station aspire l'eau brute stockée dans le lac Mandroseza et la refoule vers toute la station de traitement.

III.1.2. Prétraitements physique

Dans un premier temps, cette eau subit un prétraitement éliminant les matières de grandes dimensions susceptibles de gêner la mise en œuvre des autres traitements. Il consiste à la protection des ouvrages en aval et des autres équipements par la méthode de dégrillage et de dessablage.

III.1.3. Méthode de traitement à Mandroseza I

III.1.3.1. Injection de produit chimique

Cette partie consiste à injecter les produits chimiques directement dans le déversoir de l'eau brute après pompage. Les produits utilisés sont le sulfate d'alumine $Al_2(SO_4)_3$ qui joue le rôle de coagulant et le Chaux $Ca(OH)_2$ qui est un adjuvant de floculation. Ils sont introduits dans l'eau sous forme de solution concentrée. Ils sont préparés antérieurement dans les bacs à réactifs et sont injectés par des pompes doseuses par l'intermédiaire des conduites en PVC.

Cependant, la dose utilisée n'est pas fixe mais varie selon la saison. En général elle est de 6 à 7 mg.L^{-1} en saison sèche, et peut atteindre 29 mg.L^{-1} en saison de pluie.

III.1.3.2. Procédés de clarification

Elle subit ensuite une série d'opérations en passant successivement par la coagulation-floculation, la décantation et la filtration.

➤ Etape de coagulation-floculation

La coagulation consiste en la déstabilisation des particules en suspension par la neutralisation de leurs charges négatives. Pour ce faire, le sulfate d'alumine est utilisé pour l'obtention des floes.

La floculation est le phénomène de formation de flocons de taille plus importante. Pour cela, l'ajout de Chaux est nécessaire à cette étape. Il sert à corriger le pH initial de l'eau à traiter, pour avoir un pH admissible et pour avoir une meilleure floculation. La dose de chaux amont est toujours fixée à 1/5 de la dose d'alumine utilisée.

Le temps de contact dans le système de coagulation-floculation est de une heure et quart à une heure et demie.

➤ Etape de décantation

A ce dernier niveau, l'eau passe par quatre décanteurs permettant, sous l'action de la pesanteur, d'éliminer la majeure partie des floes formés lors de la coagulation-floculation.

- Le décanteur Accelator ou décanteur à recirculation de boues de forme cylindrique a une capacité nominale de $1\ 100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et possède six bassins de filtration. Après injection de produit pour la coagulation-floculation, l'eau est mélangée par une turbine en dessous du décanteur, qui est actionnée par un moteur électrique en surface. Les boues ou floes agglomérés descendent alors jusqu'au fond dans le concentrateur de boues.

- Les deux décanteurs Pulsator I et II ou décanteur à lits de boues de capacités nominales $Q_1=1300 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ et $Q_2=1600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ interviennent pour maintenir la boue sous forme de masse en expansion traversée par l'eau de bas en haut aussi régulière que possible. Ces décanteurs ont chacun six bassins de décantation et six bassins de filtration.

Ces trois décanteurs sont équipés d'extracteurs de boue effectuant un raclage automatique toutes les 10 minutes pendant 20 secondes.

-Le décanteur Pratt Daniel (décanteur cylindro-conique) agit en filtre bicouche. Après addition de sulfate d'aluminium, l'eau brute dépourvue des matières organiques remonte vers la surface, tandis que ces dernières devenues denses se déposent petit à petit vers le fond. Ils sont en nombre de trois et possède chacun quatre siphons permettant de siphonner l'eau surnageant puis de l'aspirer pour être filtré. Sa capacité nominale est de $800 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Tous les décanteurs de l'usine subissent de grand lavage deux fois par an et des purges tous les matins. Les décanteurs Accelator, Pulsator I et II, et Prat-Daniel sont illustrés sur les photos 1, 2, 3 et 4.



Photo 1 : Décanteur Accelator



Photo 2 : Décanteur Pulsator I



Photo 3 : Décanteur Pulsator II



Photo 4 : Décanteur type Prat-Daniel

➤ Etape de filtration

La filtration a pour but d'éliminer les précipités non décantables ou floccs résiduels.

A Mandroseza I, les filtres à sable rapides sont de type AQUASURE.

Les matériaux filtrants sont maintenus en place par gravité et l'écoulement de l'eau à lieu de haut en bas. Le lavage du filtre se fait par inversement du sens d'écoulement de l'eau.

La vitesse de filtration est de $5 \text{ à } 10 \text{ m} \cdot \text{h}^{-1}$. La granulométrie du sable est entre $0,8 \text{ mm}$ et $1,5 \text{ mm}$ avec une hauteur de $0,8 \text{ m}$.

III.1.3.3. Procédés de désinfection et de neutralisation

Le but de la désinfection est d'éliminer tous micro-organismes pathogènes présents dans l'eau et maintenir le chlore résiduel dans les conduites afin d'empêcher le développement des maladies hydriques. Le désinfectant employé par la JIRAMA est l'hypochlorite de calcium $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Elle se fait par ajout d'une certaine solution d'hypochlorite de calcium dans les citernes de stockage des eaux traitées.

A la suite de la désinfection, l'eau ne contient plus des bactéries mais peut être encore agressive vis-à-vis des conduites. De ce fait, la neutralisation est utilisée pour éliminer le CO_2 en excès en vue de protéger les conduites contre la corrosion. Un chaux de neutralisation est alors utilisée par la JIRAMA et se fait injecter dans les citernes de stockage des eaux traitées.

III.1.4. Schéma synoptique de traitement à M I

La figure 3 présente le schéma synoptique de traitement à M I

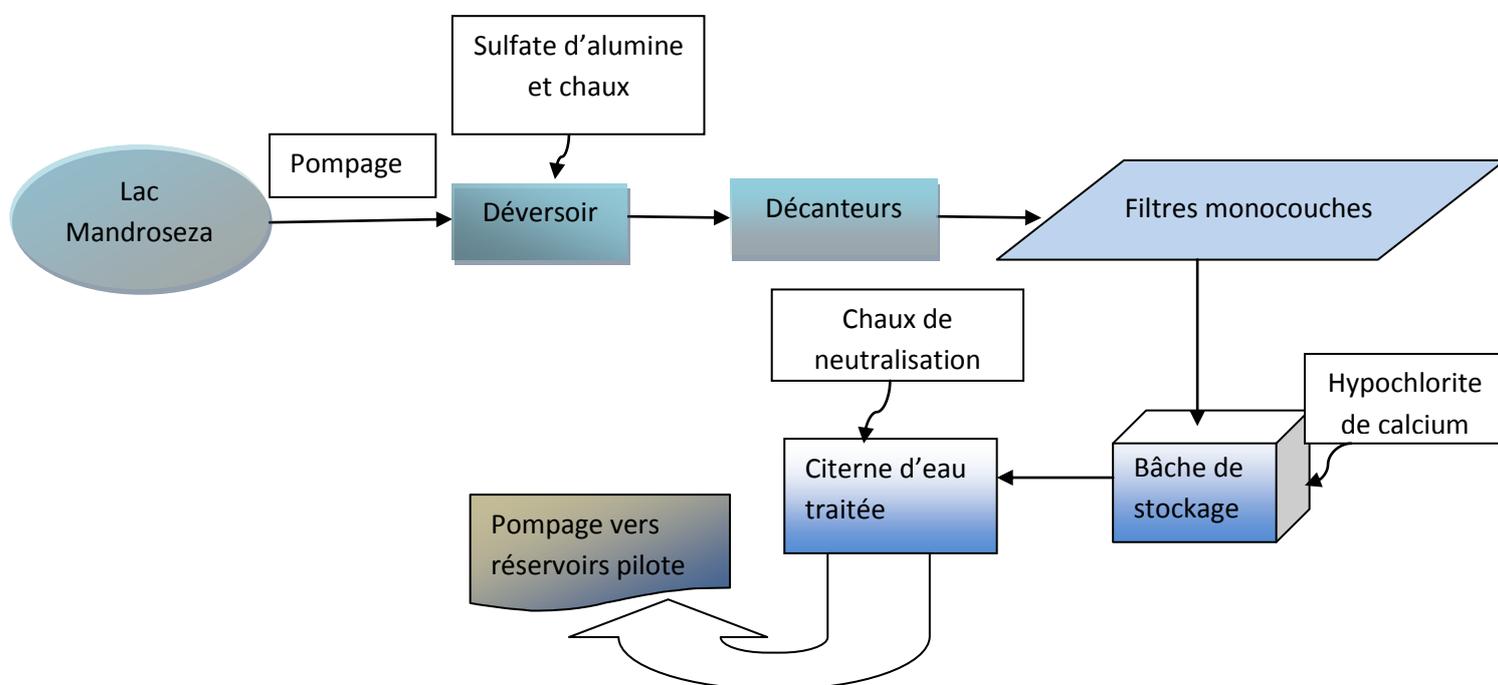


Figure 3 : Synoptique de la station MI

III.2. Station de traitement à Mandroseza II

III.2.1. Captage et pompage de l'eau brute

C'est une nouvelle station créée pour renforcer la station MI. Les principes de traitements sont presque toutes les mêmes mais se différencient en quelques points tels que le dégrillage, le mélangeur rapide, le flocculateur, la filtration et le saturateur de chaux en aval.

Pour Mandroseza II, un dégrillage grossier de maillage de 12 mm protège les pompes contre les avaries graves. Puis, l'eau est pompée vers les différentes stations de traitements.

III.2.2. Méthode de traitement à Mandroseza II

III.2.2.1. Procédés de clarification

➤ Etape de coagulation-floculation

Elle est caractérisée par un mélangeur rapide appelé coagulateur qui a pour rôle de mélanger intimement le sulfate d'alumine à l'eau à traiter. L'eau pompée depuis le lac entre dans une cuve d'agitateur rapide de volume 69 m³. L'agitateur tourne à une vitesse de 41 tr/mn. L'eau coagulée parvient ensuite dans le flocculateur avec une vitesse de 5 trs/mn.

➤ Etape de filtration

Mandroseza II utilise six filtres bicouche composé d'anthracite et de sable. La couche supérieure est formée d'anthracite tandis que celle du dessous de sable. Ce filtre présente un avantage par rapport aux filtres monocouche puisque le premier étage de filtration empêche les colmatages trop rapides tandis que le second permet de retenir les particules les plus fines. Ce qui explique l'absence de l'étape de décantation dans ce processus de clarification.

III.2.2.2. Procédés de désinfection et de neutralisation

A Mandroseza II, la désinfection se fait aussi par addition d'hypochlorite de calcium.

En revanche, pour la neutralisation, ce dernier est équipé d'un saturateur de chaux à turbine qui permet de préparer le lait de chaux (Ca(OH)₂) et assure l'injection de chaux en aval pour éviter une dégradation de la qualité de l'eau traitée. Le mélange intime eau + lait de chaux est assuré à l'intérieur du saturateur par un hélico-mélangeur.

La photo 5 présente le saturateur de chaux existant à MII.



Photo 5 : Saturateur de chaux M II

III.2.3. Schéma synoptique de traitement à M II

La figure 4 présente le schéma synoptique de traitement à M II

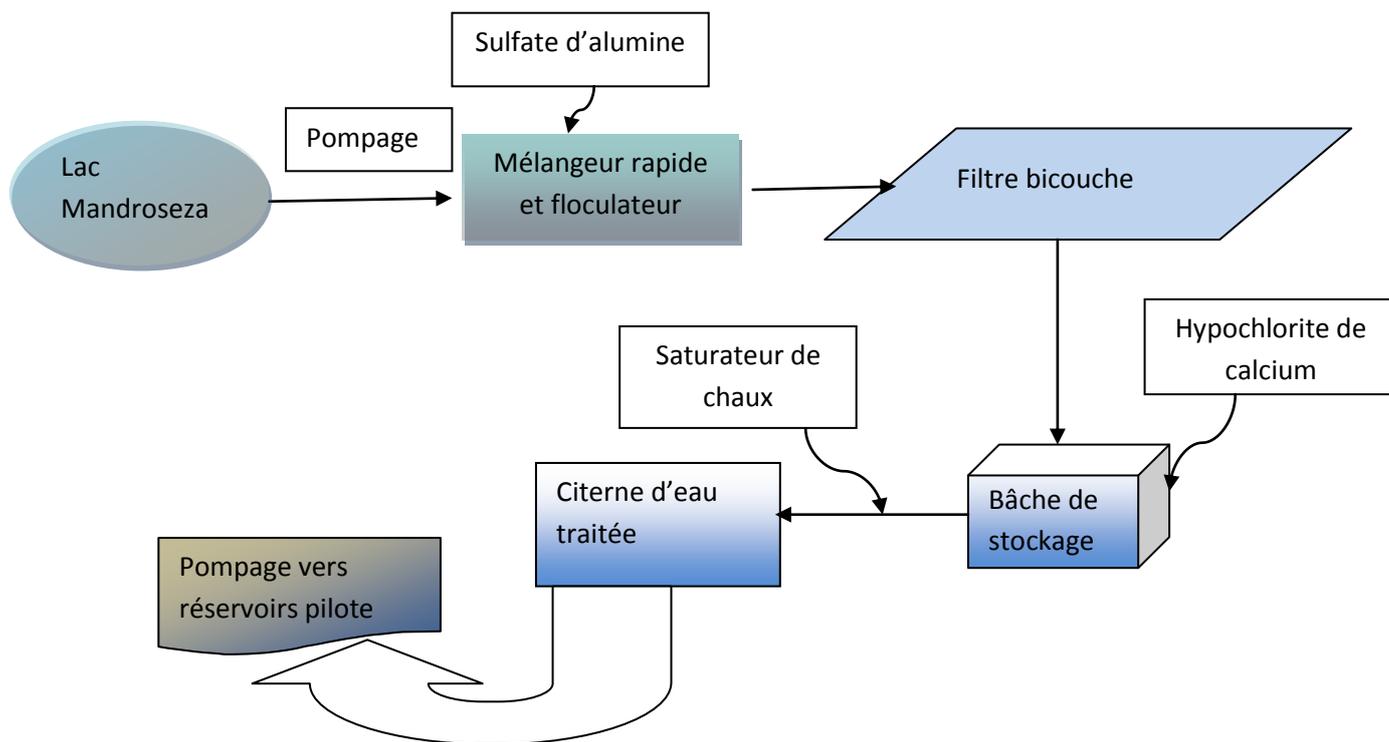


Figure 4 : Synoptique de la station MII

Chapitre II : ETUDE EXPERIMENTALE

Cette partie rassemble les matériels et les méthodes utilisés pour des analyses physico-chimiques et bactériologiques permettant la détermination d'une part de l'évolution de la qualité de l'eau et d'autre part de l'efficacité du traitement au niveau des différentes étapes de traitement.

I. ANALYSE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES

Les analyses physico-chimiques et bactériologiques permettent de déterminer la composition de l'eau du lac afin d'évaluer sa qualité, de connaître les paramètres à corriger et de pouvoir la traiter correctement.

I.1. Analyses des paramètres physico-chimiques

I.1.1. Analyses physiques

Les paramètres physiques regroupent la température, la turbidité, le pH, la conductivité et la minéralisation.

Les paramètres physiques dépendent de la structure naturelle des eaux. En effet, les eaux se chargent de certains éléments minéraux qui influent sur la conductivité et le pH.

➤ Mesure du pH

Le pH permet de savoir l'acidité et la basicité d'une eau par la mesure de la concentration en ion H^+ d'une solution.

Il est mesuré à l'aide d'un Ionomètre HANNA HI 4222 muni de 2 électrodes ou par un comparateur hydrocure en ajoutant un indicateur coloré. L'Ionomètre est présenté sur la photo 6.



Photo 6 : Ionomètre

➤ Mesure de la conductivité, minéralisation et mesure de la température

Ces 3 paramètres sont mesurés à l'aide d'un seul appareil qu'est le conductimètre, modèle LF 538.

- La conductivité indique la capacité d'une eau à conduire le courant électrique. La mesure de la conductivité électrique de l'eau permet de déterminer la minéralisation ou la salinisation des eaux, ainsi une eau minérale est une eau présentant une certaine conductivité électrique. L'unité de mesure utilisée est le Siemens par centimètre ($S.cm^{-1}$) exprimé souvent en micro siemens par centimètre ($\mu S.cm^{-1}$).
- La minéralisation de l'eau indique la teneur en sels minéraux dissous, exprimée en $mg.L^{-1}$.
- La température joue un rôle très important dans la solubilité des sels et surtout des gaz et la détermination du pH. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivants dans l'eau. Elle est exprimée en degré Celsius $^{\circ}C$.

Le conductimètre est illustré sur la photo 7.



Photo 7 : Conductimètre

➤ Mesure de la turbidité

Elle détermine la quantité de matière en suspension et des matières colloïdales dans l'eau par la mesure de la transparence du liquide qui reflète l'absence des matières non dissoutes.

La mesure de la turbidité permet de définir la limpidité ou la transparence de l'eau.

La turbidité est exprimée en NTU ou le Nephelometric Turbidity Unit, et mesurée à partir d'un turbidimètre digital modèle 2100P HACH qui est représenté sur la photo 8.



Photo 8 : Turbidimètre

I.1.2. Analyses chimiques

Les analyses chimiques se particularisent par l'utilisation de divers réactifs chimiques (catalyseur, indicateur coloré, ...) et utilisent des appareils pour faciliter la lecture des résultats. Ces analyses chimiques ont été catégorisées en deux parties distinctes dont la première consiste aux analyses colorimétriques et la deuxième aux analyses volumétriques.

I.1.2.1. Analyses colorimétriques

Elles consistent à ajouter dans la solution à analyser un réactif coloré ; l'intensité de la coloration ainsi obtenue est fonction croissante de la concentration de l'élément minéral recherché. La détermination de ce dernier nécessite alors l'utilisation de réactifs chimiques et aussi d'appareils de mesure comme le comparateur hydrocure et le spectrophotomètre d'absorption moléculaire pour la mesure des concentrations des différents anions contenus dans l'eau comme le fer total (Fe^{2+} , Fe^{3+}), les sulfates (SO_4^{2-}), les nitrites (NO_2^-), les nitrates (NO_3^-) et l'azote ammoniacal (NH_4^+).

➤ Dosage du fer total

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

La détermination de la concentration se fait en comparant la couleur de la solution obtenue placée dans le comparateur hydrocure avec celles des plaquettes étalons. Ces plaquettes ainsi que le comparateur sont représentés sur la photo 9.



Comparateur hydrocure



0,06 à 1 mg.L⁻¹



0,3 à 5 mg.L⁻¹

Photo 9 : Plaquette de comparaison

➤ Dosage des sulfates

La méthode pour déterminer la concentration en ion sulfate est la méthode néphélométrique. Le principe est que les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de « TWEEN 20 » ou de polyvinyle-pyrolidone. Des suspensions homogènes sont mesurées au spectrophotomètre à une longueur d'onde 650nm.

➤ Dosage des nitrites

La méthode utilisée est celle de la spectrophotométrie d'absorption moléculaire. En milieu acide, les ions nitrites réagissent avec une amine aromatique [N-(naphtyl-1) diamino-1,2-éthane] pour former un sel de diazonium. L'ion diazonium, à son tour donne un complexe rose en présence de sulfanilamide (l' amino-4-benzènesulfonamide).

➤ Dosage des nitrates

La méthode adoptée est aussi celle de la spectrophotométrie d'absorption moléculaire. Les nitrates sont réduits en nitrites par du cadmium traité au sulfate de cuivre. Les nitrites produits, donnent avec la sulfanilamide un composé diazoïque qui, couplé avec le NED sulfanilamide [N-(Naphtyl-1) diamino-1,2- éthane], donne un complexe rose.

➤ Dosage des ions ammonium

En milieu alcalin et en présence de nitroprussiate, qui agit comme un catalyseur, les ions ammonium traités par une solution d'hypochlorite de sodium et de phénol donnent du bleu d'indophénol susceptible d'un dosage colorimétrique.

I.1.2.2. Analyses volumétriques

Les analyses volumétriques consistent à ajouter dans la solution à analyser différents réactifs correspondant au paramètre recherché et à titrer cette solution par un autre réactif neutralisant ceux présents dans la solution. Le résultat correspond au volume de solution neutralisante versée après virage de l'indicateur coloré.

➤ Dureté

La dureté détermine la minéralisation de l'eau. Elle est due à la présence des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} dans l'eau qui sont amenés à former un complexe par le sel disodique de l'E.D.T.A ou Acide Ethylène Diamine Tétraacétique.

➤ Oxydabilité au permanganate de potassium (Dosage manganométrique)

L'opération consiste à mesurer en milieu alcalin, la quantité d'oxygène enlevée au permanganate par des matières organiques d'origine animale ou végétale contenues dans une eau. Cette mesure renseigne alors sur la quantité de matières organiques (M.O) en suspension dans l'eau.

➤ Dosage des ions chlorures (Cl⁻)

On détermine souvent la concentration en sels dissous dans l'eau par les chlorures qui sont généralement sous forme de sels de sodium (NaCl), de potassium (KCl) et de calcium (CaCl₂).

Les chlorures sont dosés en milieu neutre par une solution titrée de nitrate d'argent en présence de chromate de potassium comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du chromate d'argent.

➤ Détermination des titres alcalimétriques TA et TAC

Le TA indique l'alcalinité globale de l'eau et le TAC indique l'alcalinité calcique de l'eau. Les titres alcalimétriques (TA et TAC) permettent de connaître les concentrations en ions HCO_3^- et CO_3^{2-} contenus dans l'eau. La détermination de l'alcalinité est basée sur la

neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué (H_2SO_4) en présence d'un indicateur coloré (phénolphtaléine ou hélianthine).

Le tableau 2 résume les différents matériels et réactifs nécessaires pour les analyses physiques et chimiques ainsi que le virage correspondant.

Tableau 2 : Récapitulatif des matériels et réactifs utilisés pour les analyses physico-chimiques.

Analyses	Paramètres	Matériels	Réactifs	Virage
Paramètres physiques	pH	pH-mètre		
	Conductivité	Conductimètre		
	Turbidité	Turbidimètre		
Analyses colorimétriques	Fer	Plaquette hydrocure	Réducteur : Dithionite de sodium Complexant : Diméthylglyoxime Indicateur : Ammoniaque	Rose
	Nitrites	Spectrophotomètre	Tampon : Acide phosphorique Réactifs : Réactif colorée	Rose
	Nitrates		Tampon : NaOH, tampon concentré Réactifs : Réactif coloré	Rose
	Sulfates		Tampon : HCl Réactifs : $BaCl_2$	Précipité blanc
	Ammonium		Tampon : Citrate de sodium, eau de javel Catalyseur : Sodium nitroprussiate Réactifs : Phénol	bleu
Dureté totale	bécher, fiolle jaugée, Pipette jaugée, burette de précision		Indicateur : NET Solution tampon : Tampon TH Solution titrante : EDTA N/50	Rouge au bleu
Dureté calcique		Indicateur : Patton et Reeder Solution tampon : NaOH 3N Solution titrante : EDTA N/50	Rouge au bleu	
Chlorure		Indicateur : Chromate (K_2CrO_4) Solution titrante : Nitrate d'argent ($AgNO_3$) N/10	Jaune au Rouge brique	
Titre alcalimétrique		Indicateur : Hélianthine Solution titrante : H_2SO_4 N/50	Jaune au jaune orangé	
Matières organiques		Tampon : Bicarbonate de sodium Oxydant : $KMnO_4$ N/80 Tampon : H_2SO_4 Réducteur : Sel de Mohr Solution titrante : $KMnO_4$ N/80	Incolore au Rose	

I.2. Analyses bactériologiques des eaux

Ce type d'analyses est le plus important pour la protection du public. Il permet de déterminer si l'échantillon contient des bactéries qui présentent un risque pour la santé.

L'analyse bactériologique ou microbiologique a pour but de déterminer l'existence ou non des germes pathogènes et des germes indicateurs de pollution dans l'eau.

I.2.1. Prélèvement

Chaque prélèvement est défini suivant un planning préétabli par chaque service concerné.

I.2.1.1. Lieu de prélèvement

Il y a cinq points de prélèvements pour l'analyse bactériologique ; l'eau à la sortie d'usine Mandroseza I et II, l'eau du réservoir, l'eau des bornes fontaines, l'eau des abonnés et enfin l'eau du lac et d'Ikopa.

I.2.1.2. Etape de prélèvement

Les analyses bactériologiques nécessitent un minimum d'attention car chaque geste peut fausser le résultat suite à une contamination bactérienne. De ce fait, afin d'éviter toute contamination, le prélèvement suit des étapes bien définies telles que la mesure du Chlore et du pH de l'eau, la désinfection du robinet et le prélèvement dans un flacon stérile.

I.2.2. Analyse

I.2.2.1. Germes à rechercher

Une eau potable doit être exempte de germes. Pour évaluer la potabilité d'une eau, il faut rechercher la présence des quatre principales bactéries dits germes test :

- Coliformes totaux
- *Escherichia Coli*
- Streptocoques fécaux
- Anaérobies sulfite-réducteurs

I.2.2.2. Méthode d'analyse

La méthode par membrane filtrante a été utilisée pour la recherche des coliformes fécaux, et streptocoques fécaux.

- La recherche des bactéries coliformes totaux et des *Escherichia Coli* est déterminée par la méthode de la membrane filtrante afnor t 90-414. Le milieu de culture utilisé est la gélose lactosé.

- La recherche des Streptocoques fécaux est aussi déterminée par la méthode de la membrane filtrante afnor t90 – 416.

Mais cette fois, le milieu de culture utilisé est SLANETZ et BARTLEY.

- Pour la recherche des Anaérobies Sulfito-Réducteurs, la méthode employée est celle de l'inoculation en milieu liquide dans un flacon. Il existe deux méthodes :

1ère METHODE : AFNOR (norme NF-T-90-415)

2e METHODE : AFNOR (norme NF-T-90-419)

I.2.2.3. Etape d'analyse

Quatre milieux de culture spécifiques à chaque bactérie sont préparés au préalable. La filtration des eaux à analyser est effectuée sur une membrane filtrante. La membrane ayant fixé les germes est placée sur le milieu de culture. Ensuite, le milieu de culture est incubé dans une étuve à différente température pendant une durée bien définie en vue de multiplication des germes au-dessus de la membrane. Chaque bactérie agit sur le milieu de culture suivant une réaction spécifique à son développement changeant ainsi la couleur initiale du milieu de culture. Enfin, le dénombrement des germes est effectué sur la membrane.

Le tableau 3 ci-après présente un récapitulatif des procédures à suivre pour la recherche de ces germes tests.

Tableau 3 : Résumé des procédures à suivre pour la recherche de germes tests

Germes	Méthodes d'analyses	Culture		Incubation		Normes
		milieux	couleurs	Temps	températures	
Coliformes totaux	membrane filtrante afnor t 90-414	gélose lactosé	vert	24h	37°C	<1/100 ml
<i>Escherichia Coli</i>	membrane filtrante afnor t 90-414	gélose lactosé	vert	24h	44°C	<1/100 ml
Streptocoques fécaux	membrane filtrante afnor t90 – 416	Slanetz et Bartley	rouge	24h-48h	37°C	<1/100 ml
Anaérobies sulfito-réducteurs	inoculation en milieu liquide dans un flacon	Gélose viande fois Gélose	Jaune (milieu en tube)	24h Ge	37°C	<1/20ml

II. ETUDE DE LA QUALITE DE L'EAU AU NIVEAU DU SITE

II.1. Technique d'analyse adoptée pour le contrôle de la qualité des eaux au niveau du centre

La JIRAMA dispose d'un laboratoire d'analyse d'eau à la station de production de Mandroseza, assurant l'autocontrôle de la qualité de l'eau.

Le contrôle et l'analyse de la qualité de l'eau par la JIRAMA s'effectuent par la prévision de deux types d'analyse ; à savoir l'analyse sommaire et l'analyse complète.

II.1.1. Analyse sommaire

L'analyse sommaire consiste en la mesure des paramètres spécifiques nécessaires pour contrôler la qualité de l'eau. Cette analyse s'effectue par la mesure du pH, du Chlore, de la Turbidité, et des germes pathogènes (bactéries Coliformes, *Escherichia coli*, Entérocoques intestinaux, Spores de micro-organismes, et Anaérobies Sulfite-réducteurs) contenues dans les eaux. Les valeurs mesurées sont ensuite comparées avec les valeurs de référence (valeurs max et min) pour en déduire la conformité. Les mesures de pH et de chlore sont réalisées sur le terrain à partir des tests colorimétriques.

L'équipe du laboratoire se sert de « turbidimètre portatif » pour les mesures de turbidité sur terrain, et d'un turbidimètre appelé « Ionomètre » pour les mesures en laboratoire.

Le contrôle de la turbidité, du chlore ainsi que du pH (potentiel d'hydrogène) à la sortie station et au niveau d'ouvrage est de routine car il a pour but de vérifier l'efficacité de la chaîne de traitement, de la désinfection et de la qualité organoleptique des eaux distribuées. Par ailleurs, les analyses bactériologiques sur l'eau brute et l'eau traitée sont effectuées pour vérifier l'efficacité de la désinfection et la potabilité de l'eau.

L'équipe du laboratoire réalise 11 prélèvements d'échantillons par jour pour les analyses sommaires ; dont 2 échantillons prélevés à la sortie de l'usine de production qui sont analysés au laboratoire de cette dernière, 5 échantillons issus des réservoirs analysés au laboratoire central de la JIRAMA à Mandroseza, 4 échantillons issus des abonnés analysés à la fois au laboratoire central de la JIRAMA et à l'IPM, dont ce dernier ne réalise que la partie analyse bactériologique.

II.1.2. Analyse complète

Pour l'analyse complète, il faut procéder à la mesure des 25 paramètres physico-chimiques en plus des paramètres bactériologiques (coliformes totaux, *Escherichia coli*, Entérocoques Intestinaux, Streptocoque fécaux, ASR Spores).

L'équipe du laboratoire procède aux prélèvements de 3 échantillons par mois pour des analyses complètes ; au niveau de la rivière Ikopa en amont du captage, au niveau du lac Mandroseza et à la sortie d'usine.

Les techniques d'analyses sommaires et des analyses complètes sont résumées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Récapitulatif des analyses sommaires et des analyses complètes

ANALYSE SOMMAIRE		ANALYSE COMPLETE	
Lieux de prélèvement	Fréquences	Lieux de prélèvement	Fréquences
Au niveau des réservoirs	5 échantillons /jour ; choisis parmi les trentaines de réservoirs existants, et repris 2 fois par mois	Amont du captage (Ikopa)	1fois/mois
Abonné	4 échantillons /jour ; choisis parmi les 170 points de prélèvement fixes, et repris 1 fois tous les 3 mois pendant une année		
Sortie usine	Sur 2 points fixes/plusieurs fois par jour	Sortie usine	1fois/mois
Eau brute	Tous les matins : pH/Turbidité	Eau brute du lac	1fois/mois

II.2. Contrôle et suivi de l'efficacité de traitement au niveau des ouvrages :

Pour mener à bien le traitement, la conduite de traitement doit être effectuée conformément aux procédures en vigueur.

-Surveillance des postes de dosage des réactifs

La surveillance des postes de dosage consiste à vérifier quotidiennement le fonctionnement du système d'injection (pompe doseuse et accessoires) tel que le réglage du vernier, l'étanchéité, le débit et la pression de la pompe doseuse, l'état de marche de l'électro agitateur et le rabattement de la solution dans le bac.

Par ailleurs, pour obtenir le débit exact de la pompe doseuse, on procède à l'étalonnage.

La formule appliquée est : $Q \times t = C \times d$ (1)

Q [m³/h] : Débit d'eau à traiter

t [g/m³] : taux de traitement

C [g.L⁻¹] : Concentration du produit de traitement

d [L/h] : débit de la pompe doseuse

La concentration est obtenue après la mesure de la densité du réactif effectué au déversoir de l'eau brute avec un densimètre. Un tableau reliant densité et concentration est utilisé pour déterminer sa valeur. Puis on applique la formule (1) pour calculer le débit d de la pompe doseuse. Le débit de réactifs injectés dans l'eau doit être conforme à ce débit calculé.

Le but est d'obtenir le débit exact de la pompe doseuse sur ouvrage en adaptant le débit de la pompe doseuse (adaptation des verniers) par correspondance à la valeur théorique calculée lors de l'étalonnage.

De ce fait, la vérification de l'état de marche de chaque équipement de dosage et son ajustement sont nécessaires.

-Suivi de la coagulation - floculation - décantation

Pour assurer le bon fonctionnement du système de traitement par coagulation - floculation – décantation, l'accomplissement de deux étapes sont nécessaires ; l'inspection des installations et des équipements pour le traitement physico-chimique de l'eau et la vérification et le contrôle des paramètres de traitement par coagulation et décantation sont indispensables.

La première étape consiste à vérifier et contrôler l'état de fonctionnement des installations et de l'équipement mécanique et électrique tels que les bassins, les chambres, les cloches, les vannes, les agitateurs et les pompes.

La deuxième se fait par la vérification de la qualité du floc, de l'eau coagulée et de l'eau décantée puis d'assurer le système de traitement des boues et du concentrat pour la coagulation et le système d'extraction des boues pour la décantation.

Cependant, l'échantillonnage de l'eau est nécessaire pour vérifier l'efficacité du traitement à chaque ouvrage. Par ailleurs, en cas de changement de qualité de l'eau du lac, des essais de traitement (JAR TEST) sont effectués pour déterminer la dose optimale de coagulant et/ou floculant afin d'assurer en permanence l'efficacité de la coagulation –floculation.

- Contrôle du système de filtration et de lavage

L'accomplissement débute par le respect de la vitesse de filtration de 5 à 6 m.h⁻¹ et la mise en garde d'une tranche d'eau de 50 cm au-dessus du lit filtrant. De plus, le contrôle de la hauteur constante du sable sur toute la surface (0,80 m à 1,00m) et les fréquences de lavage et la réalisation d'un bon lavage doivent être respectées. Le suivi se termine aussi par l'échantillonnage de l'eau nécessaire au contrôle du traitement.

-Le suivi de la désinfection se fait par la mesure du chlore résiduel qui renseigne sur les différentes anomalies pouvant exister sur le système d'injection d'hypochlorite de calcium et l'état des ouvrages de stockage et des réseaux de distribution.

III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

III.1. Résultats des analyses sommaires

III.1.1. Contrôle de la qualité de l'eau au niveau du Pulsator II

Les résultats de contrôle et suivi des paramètres spécifiques pour l'évaluation de l'efficacité de traitement au niveau des ouvrages du Pulsator II sont regroupés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Evaluation de l'efficacité de traitement au niveau du Pulsator II

Date	Turbidité (NTU)					M.O (mg.L ⁻¹)					pH				
	E.B	E.D	(%) E°	E.F	(%) E°	E.B	E.D	(%) E°	E.F	(%) E°	E.B	E.D	(%) E°	E.F	(%) E°
06/11/17	8,64	3,14	-63,66	0,94	-89,12	1,9	1,6	-15,7	1,4	-26,32	8,2	7,9	-3,65	7,8	-4,87
07/11/17	8,11	4,86	-40,07	0,78	-90,38	1	1,12	50	0,9	-10	7,9	7,5	-5,06	7,6	-3,79
08/11/17	7,69	5,39	-29,91	1,12	-85,44	2,4	1,8	-25	1,5	-37,5	7,3	7	-4,11	6,6	-9,59
09/11/17	8,59	3,87	-54,94	0,83	-90,34	1,5	1,7	-33,3	1,8	20	7,5	7,5	0	7,2	-4
10/11/17	8,87	3,12	-64,83	0,63	-92,9	1,3	0,9	28,5	0,6	-53,85	7,3	7,2	-1,37	7,3	0
MOYENNE	8,38	4,076	-51,36	0,86	-89,74	1,62	1,42	-12,1	1,24	-23,46	7,64	7,4	-2,88	7,3	-4,45

M.O = Matières Organiques

E.B = Eau Brute

E.D = Eau Décantée

E.F = Eau Filtrée

% E° = Pourcentage d'élimination

Interprétations :

L'étape de décantation et de filtration sont des phases interdépendantes et indispensables pour la clarification d'une eau.

- Eau décantée

La turbidité de l'eau décantée doit être inférieure à 5 NTU pour permettre une meilleure qualité à la filtration et afin d'éviter un impact sur le fonctionnement d'un filtre.

Cette variation de la turbidité de l'eau décantée résulte de la dose des réactifs à injecter nécessaire à la coagulation. Durant la campagne de mesure, du fait du sulfate d'alumine (coagulant fortement acide), une diminution du pH de l'eau brute a été constatée et le pH se rapproche du pH optimal de coagulation-floculation (7,2). Par ailleurs, la chaux, nécessaire à l'ajustement du pH, permet une meilleure élimination de la turbidité.

De ce fait, une coagulation réalisée à un pH non optimal peut entraîner une augmentation significative du temps de coagulation ; ce qui entraîne une turbidité plus élevée à l'arrivée du

décanteur. Ceci explique aussi l'augmentation de la turbidité de l'eau décantée effectuée le 08 Novembre qui est de 5,39 (> 5NTU).

Cependant, le système de traitement permet une valeur moyenne de la turbidité de l'eau décantée à 4,076 NTU (< 5NTU) pour une valeur moyenne de l'eau brute à 8,38 NTU, ce qui est conforme à la norme ; c'est-à-dire un rendement d'élimination moyenne de la turbidité à 51,36%.

Le pH a également une influence sur l'élimination des matières organiques. Il peut augmenter ou diminuer la quantité de matières organiques de l'eau décantée issue de l'eau brute, mais permettant en moyenne une réduction de 12,10%.

- Eau filtrée

L'exigence de la qualité est atteinte puisque la turbidité moyenne de l'eau filtrée est de 0,86 NTU (< 1 NTU). La qualité de la filtration est fonction de la turbidité de l'eau décantée ; plus l'eau décantée est turbide, plus l'eau filtrée est de mauvaise qualité. Les ouvrages sont plus efficaces pour le traitement des eaux plus turbides puisqu'elles ont permis d'atteindre un rendement d'élimination optimale de la turbidité de 92,9% pour une eau brute de 8,87 NTU, tandis qu'elle est de 85,44% seulement pour une turbidité d'eau brute à 7,69 NTU.

Une diminution de la teneur en matières organiques a été constatée. La valeur moyenne des matières organiques contenues dans l'eau après filtration (1,24 mg.L⁻¹) suit la norme de potabilité Malagasy qui est inférieure à 2 mg.L⁻¹, soit une variation de 23,46%. Cette performance peut être expliquée par l'adsorption des matières organiques sur les grains d'anthracite.

D'une manière générale, le pH de l'eau filtrée est légèrement inférieur à celui de l'eau décantée correspondante (- 1,62%) suite à une aération partielle entre le passage de l'eau décantée aux filtres. Une diminution moyenne du pH de l'eau de l'ordre de 4,45% a été constatée.

III.1.2. Résultat d'analyse des eaux à la sortie MI et MII

Les résultats obtenus pour les analyses sommaires des eaux à la sortie MI et MII sont regroupés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Analyse sommaire des eaux à la sortie MI et MII

Date			Turbidité (NTU)						Chlore (Cl ₂)						pH			
	E.B MI	E.B MII	C1	C2	C3	MII	C1	C2	C3	MII	E.B1	E.B2	C1	C2	C3	MII		
06/11/2017	8,64	7,9	0,93	0,91	1,83	1,03	2	1,4	1,2	2	8,2	8	7,9	7,5	7,9	7,5		
07/11/2017	8,11	8,9	0,71	0,72	0,94	0,69	1,8	2,2	1,6	2,2	7,9	7,9	7,5	7,7	7,5	8,1		
08/11/2017	7,69	8,66	0,63	0,57	1,05	0,76	0,8	0,4	2	1,4	7,3	7,3	7,1	7,2	7	6,9		
09/11/2017	8,59	9,07	1,12	0,8	1,62	0,6	2,6	1,6	1,2	1,2	7,5	7,7	7,3	7,5	7,5	7,1		
10/11/2017	8,87	8,16	0,85	1,08	1,71	0,38	1,4	1,6	1,4	1,2	7,3	7,4	7,3	7,3	7,3	7,3		
13/11/2017	8,52	8,77	0,61	0,7	0,68	0,53	2	2	2	2	7,4	7,4	7,3	7,3	7,3	7,3		
14/11/2017	8,93	9,17	0,88	0,91	1,06	0,78	1	2	1,6	1,4	7,4	7,5	7	7,1	7,1	7,1		
15/11/2017	7,16	7,94	0,68	0,73	1,18	0,66	0,9	1,2	1,2	2,4	8,1	8,5	7,3	7,9	7,7	7,3		
16/11/2017	10,9	13,1	0,82	1,03	1,22	0,71	2	1	2	2	7,5	7,5	7,3	7,3	7,1	7,5		
17/11/2017	22,6	51,8	1,55	1,44	1,48	1,5	0,2	0,7	0,3	0,9	7,1	7,3	6,7	6,7	6,7	6,7		
MOYENNE	10	13,34	0,87	0,89	1,27	0,76	1,47	1,41	1,45	1,67	7,57	7,65	7,27	7,35	7,31	7,28		

E.B MI et MII = Eau Brute de Mandroseza I et Mandroseza II

E.B1 et E.B2 = pH de l'eau brute de Mandroseza I et Mandroseza II

C1, C2 et C3 = Citernes 1, 2 et 3 de Mandroseza I

M II = Citerne de Mandroseza II

Interprétations :

- Turbidité

Le système de traitement à MII a été constaté plus performant que celui à MI en terme de turbidité car la valeur moyenne de la turbidité au niveau de la citerne MII est de 0,76 NTU pour une eau brute (EB MII) de 13,34 NTU, tandis que celle aux niveaux des trois citernes C1, C2 et C3 sont respectivement 0,87 ; 0,89 et 1,27 NTU pour une eau brute (EB MI) de 10 NTU ; soit un rendement d'élimination de la turbidité de 94,3% pour MII alors qu'il est de 89,9% pour MI.

En se référant à la norme de potabilité Malagasy, l'eau sortant à MI et MII peut être classée excellente (turbidité <5 NTU), et elle est conforme aux objectifs de qualité à la sortie station (turbidité <1NTU) sauf au niveau C3 (valeur moyenne de la turbidité : 1,27 NTU) qui est légèrement supérieure à celle de C1 et C2.

- Chlore résiduel

La teneur en chlore résiduel à la sortie des ouvrages suit la norme Malagasy (< 2 mg.L⁻¹) puisque les valeurs moyennes sont 1,47 ; 1,41 et 1,45 mg.L⁻¹ au niveau de MI et 1,67 mg.L⁻¹

pour MII. De ce fait, le chlore résiduel maintenu, empêchant le développement de tous les micro-organismes pathogènes présents dans l'eau, permet d'assurer la qualité bactériologique de l'eau et de refouler l'eau vers les réservoirs pilotes.

- pH

D'après le tableau 6, les pH des eaux dans les citernes C1, C2, C3 et à la sortie de MII sont biens conformes à la norme (6,5 - 9) car ils sont compris entre 7,27 et 7,35. D'où, l'eau n'est pas agressive vis-à-vis des conduites.

III.1.3 Résultats d'analyses bactériologiques des eaux

Le tableau 7 montre les résultats d'analyses sommaires et bactériologiques des eaux traitées à la sortie MI et MII pendant deux jours successifs.

Tableau 7 : Résultats d'analyses bactériologiques des eaux traitées à la sortie MI et MII

Date d'analyses	Paramètres	Lieux de prélèvements		N.M
		MI	MII	
06-11-17	Turbidité	0.9	1.0	5
	pH	7.5	7.5	6.5 - 9
	Chlore résiduel	1.6	2	2
	Coliformes totaux à 37°C /100ml	<1	<1	<1
	<i>Escherichia coli</i> à 44°C /100ml	<1	<1	<1
	Streptocoques fécaux /100ml	<1	<1	<1
	anaérobies sulfito-réductrices /20ml	<1	<1	<2
	Observation	C	C	
07-11-17	Turbidité	0.7	0.7	5
	pH	7.5	8.1	6.5 - 9
	Chlore résiduel	1.8	2.2	2
	Coliformes totaux à 37°C /100ml	<1	<1	<1
	<i>Escherichia coli</i> à 44°C /100ml	<1	<1	<1
	Streptocoques fécaux /100ml	<1	<1	<1
	anaérobies sulfito-réductrices /20ml	<1	<1	<2
	Observation	C	N.C	

Source : JIRAMA

N.M = Norme Malagasy

C = Conforme

N.C = Non Conforme

Interprétations :

Du point de vue microbiologique, les résultats sont tous conformes à la norme de potabilité de l'eau destinée à la consommation humaine ; l'eau est exempte de tous germes indicateurs de contamination fécale et de germes pathogènes. Cependant, lors de la mesure du chlore résiduel effectuée le 11 Novembre, une valeur de 2,2 mg.L⁻¹ a été constatée ; ce qui n'est pas conforme à la norme (≤ 2 mg.L⁻¹).

III.2. Résultats des analyses complètes

III.2.1. Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux brutes

Les tableaux 8, 9 montrent les résultats d'analyses physico-chimiques des eaux brutes de l'Ikopa et du lac Mandroseza.

Tableau 8 : Résultats d'analyses physico-chimiques de l'Ikopa

Paramètres	Unités	Eau brute (Ikopa)		VMA
		Octobre	Novembre	N.M
Aspect		trouble	trouble	limpide
Odeur		absence	absence	absence
Couleur		jaunâtre	jaunâtre	incolore
Température	°C	24°C	23.8	25
Turbidité	NTU	25.4	30.2	5
pH		6.78	6.8	6,5-9
Conductivité	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	11.3	15.4	3000
Minéralisation	mg.L ⁻¹	12	18.5	

Source : JIRAMA

V.M.A = Valeurs Maximales Admissibles

Interprétations :

La turbidité de l'Ikopa est très élevée pendant la période de crues à cause des rejets de plusieurs pollutions qui se déversent dans la rivière.

Notamment, la turbidité de l'Ikopa est élevée par rapport à celle du lac du fait que les eaux brutes subissent une décantation naturelle dans le lac ; permettant ainsi de réduire sa turbidité.

Tableau 9 : Résultats d'analyse physico-chimique du lac Mandroseza

Paramètres	Unités	Eau brute (lac)		VMA
		Octobre	Novembre	N.M
Aspect		trouble	trouble	limpide
Odeur		absence	absence	absence
Couleur		jaunâtre	jaunâtre	incoloré
Température	°C	21,2	20	25
Turbidité	NTU	9,6	11,5	5
pH		6,97	6,99	6,5-9
Conductivité	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	23,3	28,5	3000
Minéralisation	mg.L^{-1}	22	27	50
TH	°f	1	1,6	
TH _{ca}	°f	0,4	0,6	
TAC	°f	1	1	
M.O (alcalin) (acide)	mg O2/l	1,9	1	2 5
Ca ²⁺	mg.L^{-1}	2,1	2,4	200
Mg ²⁺	mg.L^{-1}	2,78	2,43	50
Na ⁺	mg.L^{-1}	6,47	7,68	
NH ₄ ⁺	mg.L^{-1}	0,035	0,04	0,5
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	mg.L^{-1}	0,5	0,25	0,5
HCO ₃ ⁻	mg.L^{-1}		12,2	
Cl ⁻	mg.L^{-1}	10,65	18,46	250
SO ₄ ⁻	mg.L^{-1}	4,566	2,33	250
NO ₂ ⁻	mg.L^{-1}	0,144	0	0,1
NO ₃ ⁻	mg.L^{-1}	0,974	0,09	50

Source : JIRAMA

Interprétations :

Une augmentation de la turbidité a été constatée du fait des ruissellements des eaux de surface pendant la saison des pluies du mois de Novembre. Il semble qu'il n'y a aucune corrélation entre la turbidité et la teneur en matières organiques tandis que la conductivité, la minéralisation et la turbidité sont interdépendantes.

En se référant à la norme Malagasy, l'eau brute du lac Mandroseza peut être classée d'excellente qualité car elle respecte les critères et ne contient pas d'éléments indésirables ou toxiques.

III.2.2. Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux traitées à la sortie MI et MII

Les résultats obtenus pour les analyses physico-chimiques des eaux traitées à la sortie MI et MII pendant les mois d'Octobre et de Novembre sont regroupés dans le tableau 10.

Tableau 10 : Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux traitées à la sortie MI et MII.

Paramètres	Unités	Octobre		Novembre		VMA N.M
		ET M I	ET M II	ET M I	ET M II	
Aspect		clair	clair	clair	clair	limpide
Odeur		absence	absence	absence	absence	absence
Couleur						incoloré
Température	°C	21,8	20,9	21,4	20,6	25
Turbidité	NTU	2,08	1,56	1,68	0,56	5
pH		6,94	6,91	6,88	7,4	6,5-9
Conductivité	µS.cm ⁻¹	27,5	28	34,9	44,1	3000
Minéralisation	mg/l	26	26	31	41	
TH	°f	1	1,4	1,6	1,8	50
THCa	°f	0,2	0,3	1,1	1,3	
TAC	°f	1	1	1	1,2	
chlore résiduel	Mg.L ⁻¹	1,24	1,44	1,4	1,6	2
M.O (alcalin) (acide)	mg O2/l	1,7	2	1	1,1	2 5
Ca ²⁺	mg.L ⁻¹	7	6,2	4,4	5,2	
Mg ²⁺	mg.L ⁻¹	2,92	2,92	1,22	1,22	
Na ⁺	mg.L ⁻¹	6,44	5,52	9,58	10,25	
NH4 ⁺	mg.L ⁻¹	0,036	0,024	0,01	0,02	0,5
Fe ²⁺ , Fe ³⁺	mg.L ⁻¹	0,3	0,35	0,01	0	0,5
HCO ₃ ⁻	mg.L ⁻¹	18,3	18,3	12,2	14,64	
Cl ⁻	mg.L ⁻¹	9,23	4,97	19,88	19,88	250
SO ₄ ⁻	mg.L ⁻¹	0,758	2,567	3,23	3,82	250
NO ₂ ⁻	mg.L ⁻¹	0,059	0	0	0	0,1
NO ₃ ⁻	mg.L ⁻¹	0,753	0,797	0,66	1,68	50

Source : Laboratoire Physico-chimique de JIRAMA Mandroseza, Novembre 2017.

ET MI et MII : Eau traitée de la station de traitement Mandroseza I et Mandroseza II.

Interprétations :

Le système de production à MII a été observé plus performant que celle de MI au niveau de la turbidité. Par ailleurs, l'élimination de la turbidité du mois de Novembre a été remarquée plus efficace par rapport au mois d'Octobre. Elle peut être due à un mal dosage des réactifs et/ou aux dysfonctionnements des systèmes d'ouvrages.

Cependant, en se référant à la norme Malagasy, l'eau traitée à la sortie MI et MII est conforme (< 5 NTU) et peut être qualifiée de potable car elle respecte les critères et ne contient pas d'éléments indésirables ni toxiques.

CONCLUSION

L'étude consiste à contrôler et assurer le bon fonctionnement des systèmes de traitements au niveau de la JIRAMA Mandroseza en effectuant des analyses sommaires et complètes de l'eau et en maintenant la performance de traitement de chaque ouvrage pour la production d'eau potable.

La première partie du mémoire a donc consisté à une étude bibliographique. Elle décrit en premier lieu les généralités sur les eaux de surface et son traitement correspondant en respectant les normes et paramètres de qualité des eaux. Ensuite, elle décrit et présente les méthodes de traitements de la JIRAMA Mandroseza ; ce qui permet de mieux comprendre les processus et le fonctionnement de la production d'eau potable au sein du site.

La seconde partie du travail a été consacrée à la technique d'analyse adoptée pour la détermination de la qualité des eaux.

Ainsi, les analyses permettent d'une part de contrôler en permanence la qualité de l'eau en sortant de chaque ouvrage et d'autre part une optimisation des résultats de traitement par l'élimination des paramètres non conformes aux normes analysés dans les eaux brutes.

Cependant, le suivi en permanence de l'efficacité de traitement et la maintenance au niveau des décanteurs et des filtres sont à renforcer afin d'assurer les performances de ces ouvrages et d'obtenir un meilleur résultat de traitement.

Aussi, l'étude a permis de conclure que le système de traitement de la JIRAMA n'est pas efficace à 100% et pourraient être amélioré par un ajout et/ou une modification des réactifs utilisés, une adoption d'une nouvelle technique facilitant la surveillance de la qualité de l'eau au niveau des ouvrages, ou par renforcement des stations de traitements au sein du site.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] CARDOT C. Les traitements de l'eau. Procédés physico-chimiques et biologiques. Ellipses Edition Marketing S.A, 1999
- [2] DEGREMONT, Mémento technique de l'eau: Tome 2. Lavoisier SAS – Lexique technique de l'eau, Paris, dixième édition, 2005
- [3] : décret N° 2004-635 du 15 juin 2004, « Norme de potabilité Malagasy ».
- [4] : Jules Hatem et al, Livre, « Généralités sur l'eau », 2013
- [5] : RANAIVOARISOA Alfred, cours d'hydrologie, « cycle de l'eau », 2014

ANNEXES

DOSAGE DU FER TOTAL

Matériels et réactifs :

- Comparateur standard Hydrocure
- Cuvettes graduées A/B
- Plaquette « Fer 0.06 à 1 mg.L⁻¹ » et « Fer 0.3 à 5 mg.L⁻¹ »
- 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 ou 2 mL de diméthylglyoxine
- Agiter et laisser reposer pendant 2 mn
- Ajouter 2 mL d'ammoniaque et attendre 2 mn
- Remplir l'une des cuvettes avec l'eau colorée et placer dans le comparateur du côté repère « réactif »
- Comparer la couleur de la solution obtenue avec celles des plaquettes étalons.
- Lire la teneur en fer correspondante en mg.L⁻¹.

On effectue la comparaison comme suit :

- à la partie supérieure pour " FER 0,06 à 1 mg.L⁻¹"
- sous la face antérieure pour " FER 0,3 à 5 mg.L⁻¹ "

DURETE TOTALE OU TITRE HYDROTOMETRIQUE (TH)

Le titre hydrotimétrique ou dureté total exprime la somme des concentrations des cations calciques et magnésiens

La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique (le noir d'ériochrome T) de la dureté totale. La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium. La dureté est exprimée en mg.L⁻¹ de CaCO₃ ou en °F.

Réactifs

- Solution de Noir Eriochrome T dans l'alcool éthylique à 0,4% = NET – Tampon TH
- Ammoniaque à 25 %
- Solution de complexon III ou EDTAN/50

Matériels utilisés

- Bécher
- Agitateur magnétique avec barreau aimanté
- Burette
- Pipette

Mode opératoire

- Prélever 100 mL d'eau à analyser
- Ajouter 2 mL de tampon TH, quelques gouttes de NET 0,4% alcoolique (TH)
- Titrer avec de l'*EDTA* de normalité **N/50** jusqu'au virage de la solution du rouge vineux au bleu-vert
- Vérifier qu'une goutte de complexon ne produise plus de tache bleue-verte.

DURETÉ CALCIQUE (TH_{CA})

La mesure du degré calcique permet de connaître la teneur en ions Ca²⁺ présents dans l'échantillon d'eau à analyser.

Principe

Le virage d'un indicateur spécifique (le noir d'ériochrome T) marque la disparition des dernières traces d'éléments libres à doser.

il y a formation de complexes des ions Ca²⁺ par le dosage de l'E.D.T.A

Réactifs

- Solution complexon III ou *EDTA*.
- Solution NaOH 3N
- Quelques cristaux de Patton et Reeder.

Matériels utilisés

- Bécher
- Burette
- Agitateur magnétique avec barreau aimanté
- Pipette

Mode opératoire

- Prélever 100 mL d'eau à analyser
- Ajouter 2 mL de NaOH et quelques cristaux de Patton et Reeder
- Doser avec de l'*EDTA* de normalité **N/50** jusqu'au virage de la solution du rouge vineux au bleu-vert ;
- Vérifier qu'une goutte de complexon ne produise plus de tache bleue-verte.

OXYDABILITE AU PERMANGANATE DE POTASSIUM

Réactifs

- Solution saturée de bicarbonate de sodium
- Solution de permanganate de potassium (KMnO_4) de normalité **$N/80$**
- Acide sulfurique **$1/2$**
- Sel de Mohr [$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4) \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$]

Matériels utilisés

- Bécher
- Plaque chauffante
- Pipette
- Agitateur magnétique avec barreau aimanté
- Burette

Mode opératoire

- Prélever 100 mL d'eau à analyser ;
- Ajouter 5 mL de solution saturée de NaHCO_3 puis porter à ébullition ;
- Ajouter 10 mL de KMnO_4 **$N/80$** et porter à ébullition pendant 10 min ;
- Laisser refroidir, ajouter encore 5 mL d'acide sulfurique (H_2SO_4) et 10 mL de sel de Mohr de concentration 5g.L^{-1}
- Titration avec du permanganate potassium (KMnO_4) jusqu'à ce que la solution prenne une teinte rose persistante ;

Soit V_1 le volume de KMnO_4 versé lors de ce dosage ;

- Recommencer les mêmes dosages avec de l'eau distillée ;

En notant V_2 le volume de KMnO_4 versé.

Expression des résultats

L'oxydabilité des matières organiques au permanganate de potassium est obtenue par la différence entre V_1 et V_0 ; elle est exprimée en mg.L^{-1} d'oxygène.

DOSAGE DES IONS CHLORURES (Cl^-)

Réactifs

- Solution de nitrate d'argent (AgNO_3) de normalité **$N/10$ ou $N/50$**
- Solution de K_2CrO_4

Matériels utilisés

- Bécher
- Agitateur magnétique avec barreau aimanté
- Burette

Mode opératoire

- Prélever 100 mL d'eau à analyser ;
- Ajouter 3 à 5 gouttes de $K_2Cr_2O_7$;
- Titrer avec une solution de nitrate d'argent ($AgNO_3$) jusqu'au virage en rouge brique ;

DETERMINATION DES TITRES ALCALIMETRIQUES TA ET TAC

➤ **Titre alcalimétrique (TA)**

Réactifs

- Acide sulfurique (H_2SO_4) de normalité **N/50**
- Solution de phénolphthaléine à 1%

Matériels utilisés

- Bécher
- Agitateur magnétique avec barreau aimanté
- Burette

Mode opératoire

- Prélever 100 mL d'eau à analyser dans le bécher ;
- Ajouter 2 à 3 gouttes de phénolphthaléine 0,1% (rose en milieu basique)
- Titre avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4) de normalité **N/50** en agitant constamment jusqu'à ce qu'il y ait décoloration de la solution pour obtenir la valeur de TA ;
- Noter V_1 le volume de versé H_2SO_4

➤ **Titre alcalimétrique complet (TAC)**

Réactifs

- Acide sulfurique (H_2SO_4) de normalité **N/50**
- Solution d'hélianthine à 1%

Matériels utilisés

- Bécher
- Agitateur magnétique avec barreau aimanté
- Burette

Mode opératoire

Après la détermination du TA enchainé avec le dosage du TAC selon le procédé qui suit ;

- Ajouter 2 à 3 gouttes d'hélianthine 1% (jaune) ;
- continuer le titrage avec de l'acide sulfurique (H_2SO_4) de normalité **N/50** en agitant constamment jusqu'au virage du jaune à l'orangé ;

- Noter V_2 le volume total de H_2SO_4 versé jusqu'à l'obtention de la teinte jaune orangé.

DETERMINATION DE LA DEMANDE EN CHLORE

La dose d'hypochlorite de calcium nécessaire pour avoir une désinfection suffisante est déterminée par la méthode au « Break Point ».

But :

La mesure de la teneur en chlore résiduel libre permet de contrôler l'efficacité de la désinfection.

Principe

La méthode consiste à ajouter à un même volume d'eau des doses croissantes d'hypochlorite de calcium. Le taux de chlore résiduel mesuré au bout d'un temps donné en fonction de la dose ajoutée passe par un minimum appelé Break Point avant d'augmenter régulièrement.

Le taux de chlore optimal sera supérieur à ce taux minimal.

Réactifs

- Hypochlorite de calcium 1 g.L^{-1} (1 mL contient 1mg d'hypochlorite)
- Orthotolidine

Matériels

- 6 récipients (Béchers de 1L, 500 mL ou 250 mL)
- Pipettes de 1 mL ou 2 mL
- Comparateur Hydrocure
- Plaquette chlore libre 0,1 à 2 mg.L^{-1}

Mode opératoire

- Dans une série de 6 récipients d'un volume donné. Introduire V mL d'eau à désinfecter.
- Ajouter dans chacun d'eux à l'aide d'une pipette des quantités croissantes d'hypochlorite de calcium 1 g.L^{-1} .
- Agiter et couvrir chaque récipient d'une feuille de papier. Laisser en contact 30 mn.
- Agiter au milieu et à la fin de l'expérience.
- Mesurer le chlore résiduel dans les 5 Béchers.

Expression des résultats

Soient d_i : la dose d'hypochlorite dans chaque béccher de volume V (en g.L^{-1})

v_i : le volume d'hypochlorite à ajouter (en mL).

Résultats des essais

$$V_i = \frac{d_i \times V}{1000}$$

Bécher N°	1	2	3	4	5	6
di (g.L ⁻¹)						
vi (mL)						
Chlore résiduel Cl ₂ * (mg.L ⁻¹) après 30 mn de contact						

La dose optimale d'hypochlorite de calcium de valeur supérieure au Break Point (Cl₂* minimum) est choisie suivant l'état de propreté et la longueur du réseau. Le chlore résiduel en bout de réseau varie de 0,3 mg.L⁻¹ à 0,5 mg.L⁻¹ (en période de pluies et risque de choléra).

ESSAIS DE FLOCCULATION

But

Les essais sont destinés à déterminer la nature et les doses de réactif (coagulant et flocculant) chaux à utiliser pour assurer la clarification ou la déferrisation d'une eau.

Principe

Les essais consistent à apprécier la qualité de la flocculation ainsi que la turbidité minimale après introduction de quantité croissante d'ingrédients en solution dans 5 béchers de 1 litre.

Matériels nécessaires

- Un flocculateur à vitesse réglable entre 0 et 150 tr/mn ;
- Cinq à six vases de 1 litre ;
- Un siphon ;
- Un chrono ou 1 montre ;
- Matériels pour mesurer le pH, fer, M.O. ;
- Turbidimètre ;
- Agitateur.

Réactifs

Clarification

Sulfate d'Alumine (S.A.) : 10 g.L⁻¹

Chaux en amont (CH) : 2 g.L⁻¹

Mode opératoire

- Prélever l'eau brute dans un seau de 10 L. Noter son aspect.
- Mesurer la turbidité, le pH, le teneur en fer et éventuellement les matières organiques
- Remplir les béchers jusqu'au trait 1000 mL avec de l'eau brute agitée.
- Brancher le flocculateur.
- A l'aide d'une pipette, introduire dans chaque bécher des quantités croissante de réactifs.
- Placer les béchers sur le flocculateur et abaisser les hélices dans l'eau.
- Effectuer une agitation rapide à 100 tr/mn pendant 2 mn, puis une agitation lente à 40 tr/mn pendant 20 mn. Noter le temps d'apparition des premiers floccs.
- Après 15mn d'agitation lente, on évaluera la qualité de la flocculation (aspect des floccs)
- Laisser décanter 10 à15 mn. Noter la vitesse et la cohésion des boues.
- Siphonner la moitié de la hauteur d'eau de chacun des béchers.
- Contrôler le pH, la turbidité, le fer, les M.O sur les eaux siphonnées.
- Noter chaque bécher selon la qualité de la flocculation

Expression des résultats :

Soient d_i : la dose de réactif dans chaque Bécher de 1L (en $g.L^{-1}$)

v_i : le volume de réactif de concentration c $g.L^{-1}$ à ajouter dans chaque bécher (en mL)

Bécher N°	1	2	3	4	5	6
Doses de réactifs d_i (en $g.L^{-1}$)						
Volume de réactif v_i (en mL)						
Temps d'apparition des floccs						
Aspect des floccs (pas, peu visible, petit, moyen, gros)						
Décantation des floccs						
Cohésion des boues						
Turbidité eau décantée (E.D)						
pH E.D.						
Fer E.D.						
M.O. E.D.						
Notation						

<p>Auteur : ANDRIANIRINA Tahiana Jonathan</p> <p>Adresse: Lot AB 378/E Ankadilalana Ampitatafika</p> <p>Contact : 034 31 785 51</p> <p>E-mail : tahianajo@gmail.com</p>	<p>Auteur : RAKOTOANDIANIMASY Tojo Hervé</p> <p>Adresse: lot 235 cité Analamahitsy</p> <p>Contact : 032 78 381 90</p> <p>E-mail : andianimasyandy@gmail.com</p>
---	---

Titre : « Etude sur le contrôle et la technique de la production d'eau potable au niveau de la Jirama Mandroseza ».

Nombre de pages : 36

RESUME

L'objectif de cette étude est de conserver la qualité de l'eau par la surveillance du système de traitement du lac Mandroseza. Elle peut facilement varier au cours de son traitement, c'est pourquoi, elle doit être surveillée en permanence. Le contrôle de la qualité se fait par l'adoption des techniques d'analyses sur les eaux brutes, les eaux à la sortie des ouvrages et les eaux traitées en suivant des fréquences bien définies. Cependant, le dosage des réactifs et la maintenance des ouvrages influent beaucoup sur le traitement. Après contrôle et suivi du Pulsator II, l'ouvrage a été constaté performant par l'élimination de la turbidité de 89,74% et des matières organiques de 23,46%. Pour éviter la dégradation de la qualité de l'eau de la JIRAMA, la protection du lac Mandroseza, la maintenance du système et du réseau de distribution et le renforcement des stations de traitements sont indispensables.

Mots clés : saturateur, turbidité, dosage, traitement, JIRAMA.

ABSTRACT

The objective of this study is to conserve water quality by monitoring the Mandroseza Lake treatment system. It can easily vary during its treatment, so it must be constantly monitored. Quality control is achieved through the adoption of analytical techniques on raw water, water leaving the works and treated water according to well-defined frequencies. However, the dosage of reagents and the maintenance of the works have a great influence on the treatment. After controlling and monitoring the Pulsator II, the structure was found to be efficient by eliminating turbidity 89.74% and organic matter 23.46%. To prevent the degradation of the JIRAMA water quality, the protection of the Mandroseza Lake, the maintenance of the system and the distribution network and the strengthening of the treatment stations are essential.

Key words: Saturator, turbidity, assay, treatment, JIRAMA.

Encadrante : Madame RAVAOMANARIVO Harimisa, Maître de Conférences à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo