

Travail de fin d'études

Auteur : Raonimaharivo, Ravosoa Rindra Mahiratra

Promoteur(s) : Zouhir, Fouad

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en sciences et gestion de l'environnement dans les pays en développement

Année académique : 2018-2019

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/8092>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULg - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

UCL - Faculté des bioingénieurs

**ETAT DES LIEUX DES POLLUTIONS INDUSTRIELLES DANS LA RIVIERE
IKOPA ENTRE TANJOMBATO ET ANOSIZATO
(MADAGASCAR)**



Ravosoa Rindra Mahiratra RAONIMAHARIVO

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT DANS LES
PAYS EN DEVELOPPEMENT**

ANNEE ACADEMIQUE 2018-2019

REDIGE SOUS LA DIRECTION DE Fouad ZOUHIR

COMITE DE LECTURE :

Hugues JUPSIN

Hassan EL HALOUANI

« Copyright :

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de l'Université de Liège et de l'Université catholique de Louvain.*

** L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'ULg et/ou de l'UC L ».*

« Le présent document n'engage que son auteur »

Auteur du présent document : RAONIMAHARIVO Ravosoa Rindra Mahiratra

Adresse email : raonimaharivo.rindra@gmail.com

REMERCIEMENTS

J'adresse mes profonds remerciements :

- aux responsables de l'ARES-CCD et la Fondation Roi Baudoin (Fonds Elisabeth et Amélie) pour les soutiens financiers à la réalisation de ce parcours et ce travail de fin d'études ;
- aux responsables de cette formation Bernard TYCHON, Charles BIELDERS et Antone DENIS ;
- à mon promoteur Fouad ZOUHIR ;
- au comité de lecture de ce présent travail : Hugues JUPSIN et Hassan EL HALOUANI ;
- au Directeur du Centre National de la Recherche pour l'environnement à Madagascar de m'avoir pris comme stagiaire lors de la collecte des données sur terrain ;
- à toutes les équipes pédagogique et administrative de cette formation ;
- à tous les étudiants de notre promotion ;
- à la famille à Madagascar pour leur soutien moral.

RESUME/ABSTRACT

RESUME

Ce présent travail a pour objectif de quantifier la pollution d'une rivière face aux activités industrielles.

Notre zone d'étude représente une très forte concentration en zones industrielles avec une domination du secteur textile. Ces industries déversent leurs eaux usées brutes dans la rivière Ikopa et entraînent la pollution de l'eau de la rivière.

Pour bien mener cette étude, quatre points ont été analysés : en amont des rejets, les deux principaux points de rejets industriels et en aval des rejets (à environ 2 km). L'analyse a montré que les eaux usées industrielles ont des concentrations physico-chimiques relativement supérieures aux normes de rejets industriels selon la législation à Madagascar.

Aucun suivi n'a été fait par les autorités concernées malgré l'existence des textes législatifs concernant les rejets et la protection de l'environnement.

Face à cette problématique, la mise en place d'un système de traitement des eaux usées industrielles simple, efficace et facile à mettre en œuvre dans un pays en développement « les bassins de lagunage naturel » a été choisi.

Mots clés : *eaux usées industrielles, pollution, textes législatifs, protection de l'environnement, traitement des eaux usées, pays en développement, lagunage naturel.*

ABSTRACT

The objective of this work is to quantify the pollution of a river in relation to industrial activities. Our study area represents a very high concentration in industrial areas with a dominance of the textile sector. These industries discharge their raw wastewater into the Ikopa River and pollute the river's water.

To properly conduct this study, four points were analyzed: upstream of the releases, the two main industrial release points and downstream of the releases (approximately 2 km). The analysis showed that industrial wastewater has physico-chemical concentrations relatively higher than the industrial discharge standards under the legislation in Madagascar.

No follow-up has been done by the authorities concerned despite the existence of legislation on discharges and environmental protection.

In response to this problem, the implementation of a simple, efficient and easy to implement industrial wastewater treatment system in a developing country, "natural lagoons", was chosen.

Keywords: *industrial wastewater, pollution, legislation, environmental protection, wastewater treatment, developing countries, natural lagooning.*

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
RESUME/ABSTRACT	ii
LISTE DES GRAPHES	vi
LISTE DES TABLES	vii
LISTE DES CARTES	vii
LISTE DES PHOTOS	vii
SIGLES ET ABREVIATIONS	viii
INTRODUCTION.....	1
Partie I : Contextes règlementaires et processus décisionnels à Madagascar	3
I.1- Acteurs et processus décisionnels.....	4
II.2- Secteur industrie :	4
II.3- Secteur eau	5
Partie II : Différentes approches utilisées au traitement des eaux usées	7
II.1- Généralités sur les eaux usées	8
II.1.1- Les eaux usées domestiques	8
II.1.2- Les eaux usées industrielles	8
II.1.3- Les eaux pluviales	8
II.1.4- Les eaux usées d'origine agricoles	8
II.2- Caractéristiques des eaux usées.....	9
II.2.1- Les paramètres physico-chimiques	9
II.2.2- Les paramètres biologiques	9
II.2.3- Les paramètres bactériologiques	9
II.2.4- Les normes de qualité pour l'eau de surface	9
II.3- Critères globaux de pollution	10
II.3.1- Pollution organique	10
II.3.2- Pollution microbienne	10
II.3.3- Pollution thermique	10
II.3.4- Pollution chimique	10
II.4- Les différents types et processus de traitement des eaux usées	10
Partie III : Milieu d'étude, matériels et méthodes	12
III.1- Présentation de la zone d'étude.....	13
III.1.2- Situation géographique	13

III.1.3- Contexte hydrographie du Bassin Versant Ikopa.....	15
III.1.4- Contexte climatique	15
III.2- Matériels et méthodes	16
III.2.1- Choix des sites de prélèvement.....	16
III.2.2- Méthodologie d'échantillonnage	18
III.2.3- Choix des paramètres	19
III.3- Méthodes d'analyse.....	19
III.3.1- Mesure in-situ	19
III.3.2- Analyses des échantillons au laboratoire	20
Partie IV : Résultats et interprétations.....	22
IV.1- Analyses et interprétation des résultats.....	23
IV.1- La température	23
IV.2- Le pH	23
IV.3- L'oxygène dissous	24
IV.4- La Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours	25
IV.5- La Demande Chimique en Oxygène	25
IV.6- Les matières oxydables	26
IV.7- La conductivité électrique.....	26
IV.8- Les sels dissous (TDS).....	27
IV.9- Cations majeurs	28
IV.9.1- Sodium	28
IV.9.2- Potassium	29
IV.9.3- Calcium.....	29
IV.9.4- Magnésium	30
IV.10- Les anions majeurs	30
IV.10.1- Chlorures.....	31
IV.10.2- Sulfates	31
IV.11- La turbidité.....	31
IV.12- La teneur en matières en suspension.....	32
IV.13- Les composés azotés.....	32
IV.13.1- Azote ammoniacal	33
IV.13.2- Nitrates.....	33
IV.13.3- Nitrites	34

IV.14- Les phosphates.....	34
IV.15- Les métaux lourds.....	35
IV.15.1- Plomb.....	35
IV.15.2- Chrome	36
IV.15.3- Cuivre	36
IV.15.4- Fer	37
IV.15.5- Manganèse	37
IV.15.6- Zinc	38
Partie V : Impacts et proposition de solutions.....	39
V.1- Evaluation du risque des rejets.....	40
V.2- Proposition des outils de gestion.....	41
V.2.1- Dimensionnement des bassins de lagunage (Mara, 1980)	41
V.2.1.1- Temps de séjour R.....	42
V.2.1.2- Volume des bassins V	43
V.2.1.3- Surface des bassins.....	43
V.2.1.4- Surface, volume et temps de séjour pour chaque bassin.....	43
V.2.1.5- Calcul de la DBO ₅ et du rendement à la sortie de chaque bassin	46
V.2.1.6- Rendement global	48
V.3- Perspectives et discussions.....	48
CONCLUSION	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES	a
ANNEXES	c
Annexe 1 : DECRET N° 2003/464 DU 15 AVRIL 2003 PORTANT CLASSIFICATION DES EAUX DE SURFACE ET REGLEMENTATION DES REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES	c
Annexe 2 : Résultats des analyses des échantillons	f

LISTE DES GRAPHES

Graphe 1 : Température des eaux.....	23
Graphe 2 : pH des eaux	24
Graphe 3 : Saturation en oxygène dissous	24
Graphe 4 : DBO ₅	25
Graphe 5 : DCO.....	25
Graphe 6 : Les Matières oxydables	26
Graphe 7 : Conductivité électrique.....	27
Graphe 8 : Les sels dissous	27
Graphe 9 : Teneur en sodium	28
Graphe 10 : Teneur en potassium.....	29
Graphe 11 : Teneur en Calcium	29
Graphe 12 : Teneur en Magnésium	30
Graphe 13 : Teneur en chlorures	31
Graphe 14 : Teneur en sulfates.....	31
Graphe 15 : Turbidité	32
Graphe 16 : Teneur en matières en suspension	32
Graphe 17 : Teneur en azote ammoniacal	33
Graphe 18 : Teneur en nitrates	33
Graphe 19 : Teneur en nitrites.....	34
Graphe 20 : Teneur en phosphate.....	34
Graphe 21 : Teneur en Plomb	35
Graphe 22 : Teneur en chrome	36
Graphe 23 : Teneur en cuivre	36
Graphe 24 : Teneur en fer.....	37
Graphe 25 : Teneur en Manganèse.....	37
Graphe 26 : Teneur en Zinc.....	38

LISTE DES TABLES

TABLEAU I : QUANTITE D’EAUX USEES DEVERSEES DANS LA RIVIERE IKOPA PAR LES INDUSTRIES	15
TABLEAU II : PLUVIOMETRIES ET TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES EN 2018	16
TABLEAU III : PARAMETRES ET METHODES D’ANALYSE UTILISEES IN-SITU	20
TABLEAU IV : PARAMETRES ET METHODES UTILISEES AU LABORATOIRE	21
TABLEAU V : NORMES DE REJET EN LES ANIONS MAJEURS	30
TABLEAU VI : ORIGINES ET IMPACTS DE REJET HORS NORME	40
TABLEAU VII : RECAPITULATION DE DIMENSIONNEMENT ET RENDEMENT D’ABATTEMENT DBO ₅	48

LISTE DES CARTES

Carte n°1 : Localisation de la zone d’Etude	14
Carte n°2 : Localisations des points d’échantillonnage	17

LISTE DES PHOTOS

Photo n°1 : Photo aérienne de la zone d’étude, Source google Earth (2018)	13
Photo n°2 : Point de rejet de la zone industrielle Tanjombato	18
Photo n°3 : Point de rejet de la zone industrielle Ankadimbahoaka	18
Photo n°4 : Echantillons prises pour l’analyse au laboratoire	19
Photo n°5 : Mesures in-situ par les techniciens	20
Photo n°6 : Configuration des bassins de lagunage naturel	42

SIGLES ET ABREVIATIONS

°C	: Degré Celsius
ANDEA	: Autorité Nationale De l'Eau et de l'Assainissement
BF	: Bassin facultatif
BM	: Bassin de maturation
CE	: Conductivité électrique
DBO ₅	: Demande Biochimique en Oxygène en 5jours
DCO	: Demande Chimique en Oxygène
E.D.T.A	: Acide Ethylènediamine tétrecétique
ERI	: Eaux Résiduaire Industrielle
MES	: Matière En Suspension
mg/l	: milligramme par litre
mm	: millimètre
OD	: Oxygène Dissous
pH	: potentiel Hydrogène
PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
SOREA	: Service public (Organisme Régulateur) de l'eau et de l'assainissement
TDS	: Total Dissolved Salt
Tmax	: Température maximale
Tmin	: Température minimale

INTRODUCTION

Dans un pays en développement, l'existence des industries présente des avantages socio-économiques. Cependant, elle engendre des pollutions telles que la pollution de l'eau, la pollution de l'atmosphère, la pollution de sol, ... Le rejet de certaines substances chimiques sous forme insoluble ou dissous pollue les eaux de surface et souterraines, et modifie leurs caractéristiques physico - chimiques et biologiques (Ravelonandrasana Fetisoa, 2018).

Toutefois, si des mesures appropriées ne sont pas prises, les rejets polluants tels que les eaux usées, les divers déchets solides ou les émissions gazeuses venant de ces diverses unités de production, constituent des dangers potentiels pour l'environnement (Andriamady, 2018).

Le séminaire d'experts européens (Genève, 1961) propose comme définition : « *Un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont, directement ou indirectement, modifiés du fait de l'activité de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel ou à certaines d'entre elles* » (Koller, 2004).

Face à la croissance du secteur industriel textile à Madagascar, la pollution y afférente s'est considérablement accrue ces dernières années. Les ERI (Eaux Résiduaire Industrielle) ont généralement une composition spécifique et directement liée au type d'industrie considéré. Elles peuvent présenter des caractéristiques de toxicité propres dues aux produits chimiques transportés (Rakotobe, 2008).

La situation de notre zone d'étude est particulière car aux environs de 600m, le long de la rivière, nous avons deux grands rejets industriels issus de 38 industries (Photos 2 et 3) avec un débit entre 473 et 1757 m³/j.

Beaucoup d'études ont déjà fait sur la rivière Ikopa, Rakoto R en 2008 a fait le constat sur l'état de pollution de cette rivière Ikopa entre Tanjombato et Anosizato (Antananarivo). Les résultats obtenus sont supposés comme caractéristiques déjà acquises.

Dix ans plus tard, nous allons suivre la variation temporelle des caractéristiques de cette rivière sur le même axe. La question se pose : « Est-ce que nous pouvons réaliser la caractérisation qualitative de la rivière Ikopa face aux pollutions industrielles et de proposer un outil de gestion simple, efficace et durable ? »

Pour répondre à cette question, ce travail de fin d'étude intitulé : « Etat des lieux des pollutions industrielles dans la rivière Ikopa entre Tanjombato et Anosizato (Madagascar) » a été choisi.

Ce présent travail comporte quatre parties :

- la première partie concerne le contexte réglementaire, acteurs et processus décisionnels concernant les rejets industriels à Madagascar ;
- la deuxième partie parle des différentes approches utilisées pour le traitement des eaux usées ;
- la troisième partie repose sur le milieu d'étude, les matériels et méthodes : des aperçus sur la description de la zone d'étude, les méthodes d'échantillonnage, d'analyse et les traitements des données ;
- la quatrième partie parle des résultats d'analyses et discussions ;
- la cinquième et la dernière partie sera consacrée aux impacts de ces rejets industriels à la population riveraine et aux organismes aquatiques et nous proposerions des solutions face à cette problématique.

Partie I :

**Contextes réglementaires et processus
décisionnels à Madagascar**

Madagascar dispose de code, lois et décrets sur le rejet des eaux usées industrielles.

I.1- Acteurs et processus décisionnels

Le décret n°2003/191 porte création des Agences de bassins et fixe leur organisation, attributions et fonctionnement.

« Il prévoit la création d'une Agence de bassin dans chaque chef-lieu de Province (Faritany), et des Comités de bassin selon un découpage par bassin hydrographique. L'Agence de bassin a pour objet de faciliter la gestion des ressources en eau d'intérêt commun dans chaque Province (Faritany) » (Ministère de l'Energie et des Mines, 2003).

Le décret n° 2003 / 192 fixe l'organisation, les attributions et le fonctionnement de l'ANDEA (Autorité Nationale De l'Eau et de l'Assainissement).

Cette Agence assure le développement des secteurs eau et assainissement et la gestion intégrée des ressources en eau. Elle veille à la protection de l'environnement et le bien-être de la population en optant des mesures adaptées à chaque circonstance (Ministère de l'Energie et des Mines, 2003a).

Pour déterminer les principaux procédés de fonctionnement et d'exécution de ses tâches de coordination un manuel de procédure a été mise en place. Ce manuel conduit au planning et à l'expertise sur les activités relatives à gestion et la conservation des ressources en eau.

Le décret n° 2003 / 939 du 09 septembre 2003 portant organisation, attribution, fonctionnement et financement de l'Organisme régulateur du Service Public de l'Eau et de l'Assainissement (SOREA) stipule que le SOREA garantit la qualité de prestation de l'eau et assure le respect des normes concernant la qualité des services publics de l'eau. Il s'engage aussi à proposer des modifications et des mises à jour de ces normes (Ministère de l'Energie et des Mines, 2003).

II.2- Secteur industrie :

La loi n° 99-021 du 19 août 1999 sur la politique de gestion et de contrôle des pollutions industrielles.

Cette loi s'applique aux établissements et installations à titre industriel qui engendrent des pollutions et exposent l'environnement à toutes sortes de dangers et de risques (Ministère de l'Environnement, 1999);

Elle définit la pollution industrielle, détermine les principes pour la gestion des eaux usées, des déchets solides et des pollutions atmosphériques. Une partie est consacré sur le « *principe de pollueur-payeur* ».

II.3- Secteur eau

La loi n° 98-029 du 20 janvier 1999 portant Code de l'eau s'appose aux eaux de surface et aux eaux souterraines.

L'Autorité Nationale de l'Eau et de l'Assainissement (ANDEA) est la principale agencement pour assurer la gestion et la préservation de l'eau (Ministère de l'Eau, 1999).

Cette loi spécifie des règles essentielles sur la propriété commune de l'eau, la préservation de la quantité et de la qualité de l'eau et de la protection de l'environnement.

Elle oblige les exploitants à réaliser une étude d'impact environnemental pour tous travaux d'installations et d'ouvrages susceptibles de susciter des effets néfastes pour l'environnement et le système aquatique.

Le décret n° 2003-464 du 15 avril 2003 portant classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides.

Il a pour objectif de classer les eaux de surface et la fixer les normes de rejet des eaux usées dans le milieu récepteur tel que la rivière (Ministère de l'environnement, 2003).

Les eaux de surface sont classées en quatre (4) catégories en fonction de leurs paramètres biologiques tels que l'oxygène dissous (OD), la demande biochimique en oxygène en 5 jours (DBO₅), la demande chimique en oxygène (DCO) et la présence des germes pathogène et de leurs paramètres physico-chimiques tels que la couleur, la température, le pH, les matières en suspension et la conductivité électrique. (Annexe I)

À propos des normes de rejet des eaux usées, l'article 5 de ce décret relate la qualité de rejet à respecter pour les paramètres organoleptiques et physiques, les paramètres chimiques, les paramètres biologiques et les facteurs indésirables.

Le décret n° 2003/943 du 09 septembre 2003 relatif aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects dans les eaux (Ministère de l'Eau, 2003)

Les exploitants ou organismes qui exercent des activités susceptibles de générer de la pollution doivent envisager toutes mesures propres à devancer ou à modérer les risques et dangers observés ou présumés par les déversements et rejets dans les milieux récepteurs.

Après une enquête publique, l'Agence de bassin qui donne l'autorisation sur « *les déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects* » aux exploitants.

De ce fait, tous rejets qui ne respectent pas les normes et qui peuvent engendrer la destruction de l'environnement doivent être soumis à des traitements adaptés avant tout déversement dans le milieu récepteur (Ministère de l'Eau, 2003).

Partie II :

**Différentes approches utilisées au
traitement des eaux usées**

Les eaux usées sont définies comme l'ensemble des eaux d'origine domestique et d'origine industrielle.

II.1- Généralités sur les eaux usées

Les eaux usées sont des eaux rejetées dans un milieu récepteur tel qu'un cours d'eau et qui sont susceptibles de générer une pollution ou de nuisance. Ces eaux sont d'origine anthropique telle que les activités domestiques, agricoles et industrielles (Mara, 1980).

Toutes activités qui consomment de l'eau produisent des eaux usées. Par voie liquide, les déchets et les souillures sont transportés. Les eaux résiduaires peuvent alors engendrer des pollutions superficielles et en profondeur car elles contiennent différents polluants issus des activités humaines (Ramisasa, 2014).

Aaki en 2012 a classé les eaux usées en quatre types (Aaki, 2012): domestiques, industrielles, pluviales et agricoles.

II.1.1- Les eaux usées domestiques

Elles sont constituées par les eaux qui proviennent des ménages et des établissements et composées principalement par des eaux grises (douche, évier, ...)et des eaux noires (toilettes)(Communautés européennes, 1991).

II.1.2- Les eaux usées industrielles

Elles proviennent des usines et industries. Sa composition varie selon de l'activité des industries telle qu'agro-alimentaire, textile, papeterie, transformation des plastiques, fabrication des peintures, etc.

Ces eaux nécessitent un traitement adapté avant le rejet dans le milieu récepteur et selon la « *Norme de rejet indirect* »(Communautés européennes, 1991).

II.1.3- Les eaux pluviales

Elles proviennent des précipitations. Ces eaux ont une forte concentration en matières en suspension et d'hydrocarbures qui est due au phénomène de ruissellement.

II.1.4- Les eaux usées d'origine agricoles

Les principaux polluants sont les engrais et les pesticides provenant des phénomènes de lessivage et de ruissellement dans les parcelles agricoles (Aaki, 2012).

II.2- Caractéristiques des eaux usées

Pour pouvoir mesurer la pollution d'une eau, les trois principaux paramètres considérés sont les paramètres physico- chimiques, biologiques et microbiologiques. La composition des eaux usées dépend de leurs origines (domestiques, industrielles, agricultures, etc.). La pollution peut se présenter sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes (Mara, 1980).

II.2.1- Les paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques des eaux de surfaces sont :

- *température ;*
- *pH ou potentiel Hydrogène ;*
- *conductivité ;*
- *turbidité ;*
- *MES ou Matières En Suspension ;*
- *oxygènes dissous ;*
- *éléments chimiques indésirables dissous tels que chlorures (Cl^-), sulfates (SO_4^{2-}), Fer total (Fe), ammonium (NH_4^+), azote Kjeldahl ou NTK et nitrates (NO_3^-).*

II.2.2- Les paramètres biologiques

Les paramètres biologiques sont :

- *DBO5 ou Demande Biochimique en Oxygène pendant 5jours ;*
- *DCO ou Demande Chimique en Oxygène.*

II.2.3- Les paramètres bactériologiques

Les paramètres bactériologiques de l'eau sont :

- *coliformes fécaux et totaux ;*
- *streptocoques fécaux et*
- *bactéries anaérobies sulfito-réductrices.*

II.2.4- Les normes de qualité pour l'eau de surface

La plupart des pays disposent ses normes et réglementations pour l'eau de surface et les rejets industriels. Pour Madagascar, les normes sont présentées en annexe (Annexe I).

II.3- Critères globaux de pollution

La pollution de l'eau a d'origine multiple parmi laquelle les germes pathogènes, les matières organiques, les produits toxiques et les métaux lourds (PNUE, 2002). Les polluants ont des effets nuisibles sur l'environnement, la population et les organismes aquatiques.

Les principales sources de la pollution d'un cours d'eau sont les activités agricoles et surtout les activités urbaines telles que le rejet des eaux usées domestiques et industrielles et les dépôts d'ordures.

II.3.1- Pollution organique

Les principaux polluants des ressources aquatiques sont les matières organiques. Elles sont surtout d'origine domestique (les toilettes et des ordures), agriculture (des fumiers et des engrais) et industrielle (Rakotoarivony & Ralambo Ratsimivony, 2016).

II.3.2- Pollution microbienne

Provenant des matières organiques telles que les matières fécales qui contiennent des bactéries et des virus. Ces bactéries et virus sont transportés par l'eau et peuvent engendrer des maladies d'origine hydrique comme le choléra et la diarrhée (Rakotoarivony & Ralambo Ratsimivony, 2016).

II.3.3- Pollution thermique

La variation de la température du milieu aquatique, que ce soit augmentation ou diminution, entraîne des effets néfastes sur les organismes aquatiques.

Une forte prolifération ou une mortalité des algues est souvent observée.

Cette variation est souvent enregistrée au voisinage des rejets industriels (Rakotoarivony & Ralambo Ratsimivony, 2016).

II.3.4- Pollution chimique

Elle correspond à la pollution due aux composés chimiques comme les composés azotés et phosphoré. La pollution est majoritairement d'origine agricole et industrielle.

La toxicité chimique dépend de la concentration et de la nature du polluant (Rakotoarivony & Ralambo Ratsimivony, 2016).

II.4- Les différents types et processus de traitement des eaux usées

Pour épurer les eaux usées, il existe deux techniques : les techniques intensives et les techniques extensives (Aaki, 2012).

- ✓ Les techniques intensives sont : « *les lits bactériens, les disques biologiques, les boues activées et la biofiltration ou filtration biologique accélérée* » :
- ✓ Les techniques extensives sont :
 - les techniques extensives à culture libre telles que « *le lagunage naturel, le lagunage à macrophytes et le lagunage aéré* ».
 - les techniques extensives à culture fixe telles que « *les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal, les filtres plantés à écoulement vertical et l'infiltration percolation* ».

Quelques-unes de ces différentes approches sont utilisées dans notre zone d'étude.

Partie III :
Milieu d'étude, matériels et méthodes

III.1- Présentation de la zone d'étude

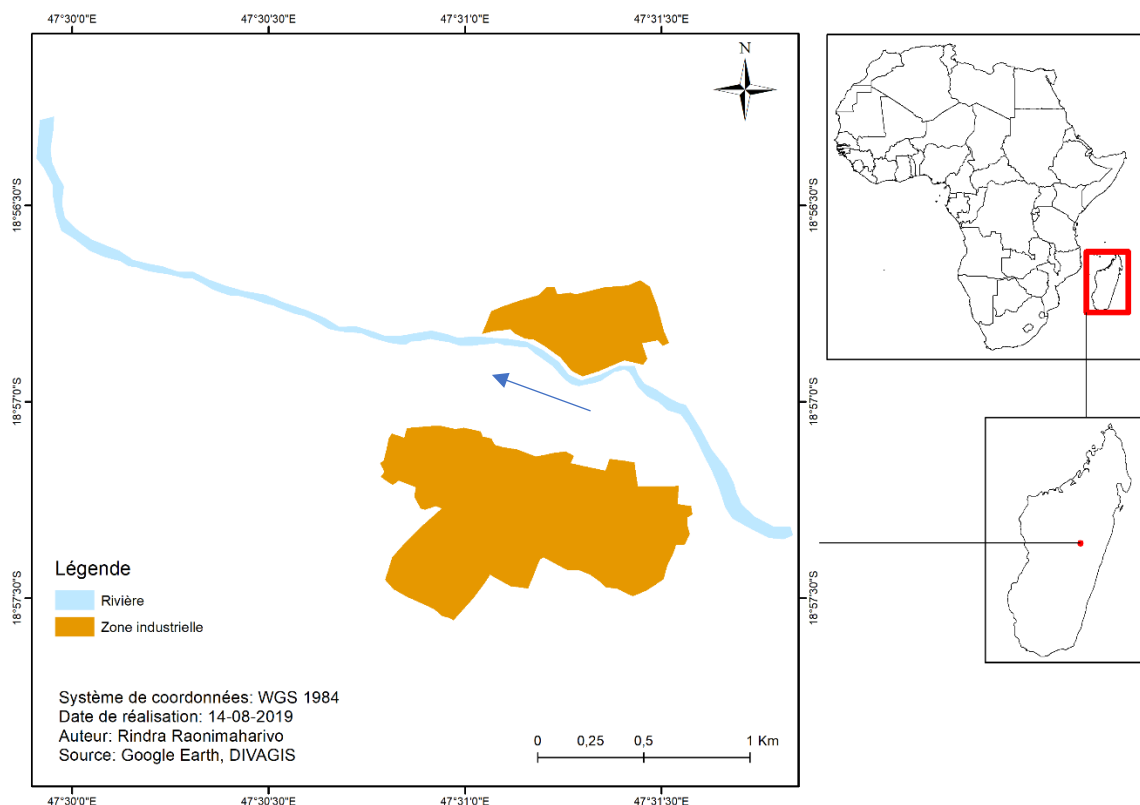
III.1.2- Situation géographique

Notre zone d'étude se situe entre les longitudes E 47° 29' 51'' et E 47° 31' 57'' et les latitudes S 18° 56' 15'' et S 18° 57' 27''. Elle concerne la tranche de la rivière Ikopa comprise entre deux Communes de la ville d'Antananarivo celles de Tanjombato et d'Anosizato. Cette rivière est devenue un récepteur et un réservoir de nombreux rejets polluants tels que les eaux usées domestiques, industrielles et agricoles.

Les deux principales sources de pollutions identifiées sont les eaux usées issues de deux zones industrielles situées respectivement à Tanjombato et à Ankadimbahoaka (Rakotobe R., 2008).



Photo n°1 : Photo aérienne de la zone d'étude, Source google Earth (2018)



Carte n°1 : Localisation de la zone d'Etude

Les activités des zones industrielles sont diversifiées telles qu'agroalimentaire, transformation de plastique, fabrication des peintures et surtout textile qui est la plus dominante.

D'après les données enregistrées auprès de la Chambre de Commerce et de l'Industrie, la zone d'étude compte actuellement quatre-vingt-cinq (85) industries contre cinquante-sept (57) en 2008 (Chambre de Commerce et de l'Industrie, 2019).

Presque la moitié des industries sont des industries textiles, qui sont des grands consommateurs d'eau et déversent leurs eaux usées dans la rivière Ikopa. Elles sont au nombre de trente-huit (38).

Aucune industrie de la zone fait le traitement des eaux usées avant le rejet dans la rivière.

Le tableau I suivant présente les volumes estimés des eaux usées déversées journalièrement dans la rivière Ikopa.

Les données sont calculées par rapport à la quantité d'eau consommée par les industries. Certaines industries aussi déversent aussi leurs eaux usées dans les canaux et les rizières avoisinants mais la majorité sont déversées dans la rivière Ikopa. Ces dernières qui nous intéressent dans cette présente étude.

TABLEAU I : QUANTITE D'EAUX USEES DEVERSEES DANS LA RIVIERE IKOPA PAR LES INDUSTRIES

Rejet 2018	Zone industrielle 1 (m ³)	Zone industrielle 2 (m ³)	Débit total (m ³ /j)
Janvier	4420	26520	998
Février	2382	17116	696
Mars	1848	12492	463
Avril	5264	23524	960
Mai	4082	32220	1171
Juin	3446	49270	1757
Juillet	3438	14170	568
Août	4014	24912	933
Septembre	4116	21696	860
Octobre	3446	19904	753
Novembre	6278	29314	1186
Décembre	2414	11782	458

Source : Jiro sy Rano Malagasy, 2019

Le débit varie selon les activités mensuelles des industries.

III.1.3- Contexte hydrographie du Bassin Versant Ikopa

La rivière Ikopa est le réseau principal, il a ses cinq affluents tels que la Sisaony ; l'Andromba ; la Katsaoka ; la Mamba ; l'Andakana et la Renihirano.

La zone abrite aussi des lacs, des étangs et des marais naturels et artificiels (Raonimaharivo, 2010).

La rivière a un débit de 7,728m³/s, une valeur mesurée lors de notre campagne terrain.

III.1.4- Contexte climatique

La pluviométrie moyenne annuelle enregistrée dans la zone est de l'ordre de 1.080 mm durant l'année hydrologique 2017-2018.

Les saisons de la région sont divisées en deux :

- Octobre jusqu'au Mars : une saison pluvieuse et chaude où les pluies sont tombées abondamment. Environ les 90% des pluies sont tombées pendant cette saison.
- Avril au Septembre : une saison sèche et fraîche avec des faibles précipitations inférieures à 30 mm.

La température moyenne annuelle enregistrée varie de 15 à 25°C.

Le tableau II suivant présente les pluviométries moyennes mensuelles et les températures moyennes annuelles des stations enregistrées dans le bassin.

TABEAU II : PLUVIOMETRIES ET TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES EN 2018

Mois	Précipitations (mm)	Tmax(°C)	Tmin(°C)
Janvier	193,8	27	17
Février	213,3	28	18
Mars	207,6	27	18
Avril	29,7	25	16
Mai	0	23	14
Juin	13,5	21	13
Juillet	29,3	21	11
Août	14	21	12
Septembre	16,9	25	14
Octobre	56,7	27	16
Novembre	96,6	27	17
Décembre	308,5	27	18
Moyenne	1079,9	25	15

Source : Direction Générale de la Météorologie de Madagascar, 2018

Lors de notre campagne de terrain, des mesures et échantillonnages ont été réalisées dont les résultats sont présentés par la suite.

III.2- Matériels et méthodes

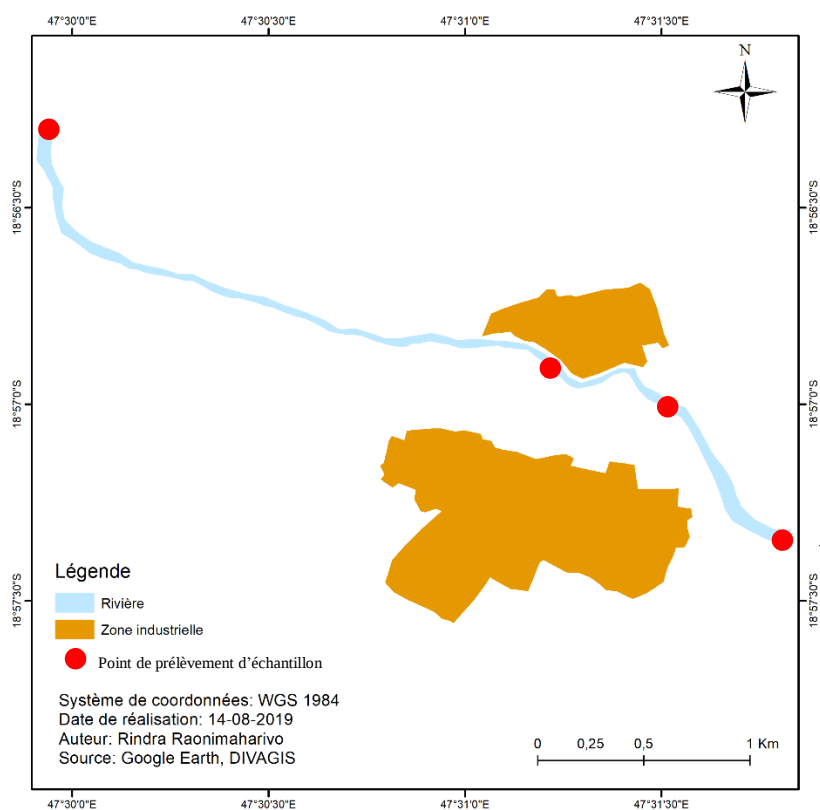
III.2.1- Choix des sites de prélèvement

Pour pouvoir faire l'état des lieux de la rivière Ikopa, nous allons faire l'analyse de la qualité des eaux le long de la rivière entre Tanjombato et Anosizato.

Plusieurs endroits ont été choisis pour cette étude, par exemple l'endroit où nous avons remarqué des rejets industriels, des points où on a déjà fait des prélèvements et en fonction des données existantes.

Des mesures en amont, en aval et au point des rejets ont été effectuées.

Nous avons prélevé quatre (4) échantillons le long de la rivière : en amont des rejets, pour les deux principaux rejets industriels (Photos 1 et 2) et en aval des rejets (à environ à 2 km), selon les études faites par Rakotobe en 2008 (Rakotobe, 2008) pour suivre l'évolution de la pollution de la rivière.



Carte n°2 : Localisations des points d'échantillonnage



Photo n°2 : Point de rejet de la zone industrielle Tanjombato



Photo n°3 : Point de rejet de la zone industrielle Ankadimbahoaka

III.2.2- Méthodologie d'échantillonnage

Pour l'échantillonnage, deux litres par échantillons sont pris et stockés dans des bouteilles en plastiques pour l'analyse au laboratoire.



Photo n°4 : Echantillons prises pour l'analyse au laboratoire

III.2.3- Choix des paramètres

Beaucoup de paramètres sont à mesurer ou à analyser parmi lesquels :

- les paramètres chimiques : température, pH, débit ;
- les paramètres physico-chimiques : Oxygènes dissous, DBO5, DCO, Matières organiques, Conductivité électrique, TDS, MES et turbidité ;
- les paramètres chimiques : composés azotés, composés phosphorés et concentration en métaux lourds tels que Plomb et le chrome.

III.3- Méthodes d'analyse

Les mesures de quelques paramètres sont faites in-situ telles et d'autres sont faites dans un laboratoire d'analyse des eaux.

III.3.1- Mesure in-situ

La température, le pH, la turbidité, la conductivité électrique, la concentration en oxygène dissous et le sel dissous sont les paramètres mesurables sur le terrain à l'aide des appareils et méthodes spécifiques (Tableau III). Il est important de faire la mesure de ces paramètres in-situ car ses valeurs pourront varier facilement et « *très sensibles aux conditions du milieu* » (Merghem, 2016).



Photo n°5 : Mesures in-situ par les techniciens

TABEAU III : PARAMETRES ET METHODES D'ANALYSE UTILISEES IN-SITU

Paramètres	Symbole et unité	Méthodes d'analyse
Température T (°C)	T (°C)	Thermomètre électronique
Potentiel hydrogène	pH (sans unité)	pH-mètre
Turbidité	(NTU : Nephelometric Turbidity Unit)	Turbidimètre
Conductivité électrique	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Conductimètre
Oxygène dissous	OD (mg/l)	Testeur d'eau modèle PCE-PHD 1
Salinité	TDS	TDS-mètre HM-TDS-3

III.3.2- Analyses des échantillons au laboratoire

Les échantillons prélevés sont soumis aux bonnes conditions de conditionnements et sont transportés au laboratoire d'analyse.

Le tableau IV suivant présente les méthodes utilisées pour analyser quelques paramètres au laboratoire tels que la DBO5, la DCO, les cations majeurs (sodium, potassium, calcium et magnésium), les anions majeurs (nitrates, chlorures et sulfates), les composés azotés (azote ammoniacal, nitrates et nitrites), les phosphates et les métaux lourds (plomb, chrome, cuivre, fer, manganèse et zinc)

TABLEAU IV : PARAMETRES ET METHODES UTILISEES AU LABORATOIRE

Paramètres	Symbole et unité	Méthodes d'analyse
Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours	DBO5 (mg/l)	Oxytop
Demande Chimique en Oxygène	DCO (mg/l)	Dichromate de potassium
Sodium	Na ⁺ (mg/l)	par photomètre à flamme type M7DC DRLANGE
Potassium	K ⁺ (mg/l)	
Calcium	Ca ²⁺ (mg/l)	Méthode volumétrique (par complexométrie avec une solution d'E.D.T.A)
Magnésium	Mg ²⁺ (mg/l)	
Chlorures	Cl ⁻ (mg/l)	Méthode de Moher AgNO ₃
Sulfates	SO ₄ ²⁻	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire Hach DR/4000
Matières en suspension	MES (mg/l)	Filtration sur membrane
Ammonium	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire Hach DR/4000
Nitrates	NO ₃ ⁻ (mg/l)	
Nitrites	NO ₂ ⁻ (mg/l)	
Phosphates	PO ₄ ²⁻ (mg/l)	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire Hach DR/4000
Plomb	Pb (mg/l)	Spectrométrie d'émission atomique ICP-EOS (Inductively Coupled Plasma)
Chrome	Cr (mg/l)	
Cuivre	Cu (mg/l)	
Fer	Fe (mg/l)	
Manganèse	Mn (mg/l)	
Zinc	Zn (mg/l)	

Ensuite, les données sont traitées sur Excel et fera l'objet d'interprétation dans la quatrième partie suivante.

Partie IV :
Résultats et interprétations

Après les mesures in-situ et analyses au laboratoire, les données sont analysées et interpréter.

IV.1- Analyses et interprétation des résultats

L'étude consiste à comparer la qualité des eaux de rejet des deux zones industrielles et les eaux de rivières en amont et en aval de ces rejets.

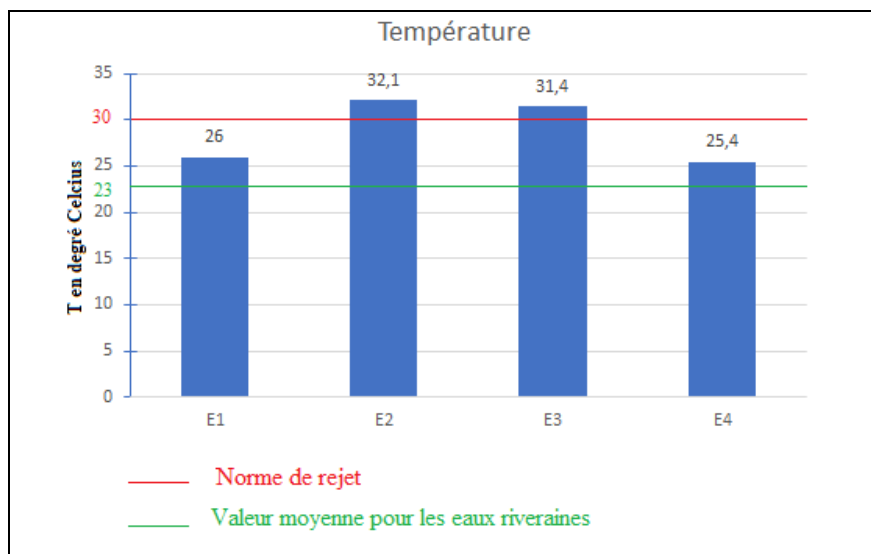
Ces quatre échantillons sont étudiés et notés respectivement :

- E0 : échantillon prélevé en amont des rejets ;
- E1 : échantillon de rejet de la zone industrielle à Tanjombato ;
- E2 : échantillon de rejet de la zone industrielle à Ankadimabahoaka ;
- E3 : échantillon prélevé en aval des rejets.

Les résultats d'analyses sont présentés en annexe (Annexe 2).

IV.1- La température

La température de chaque échantillon est mesurée in situ. Le graphe suivant représente la variation de température le long de la rivière.



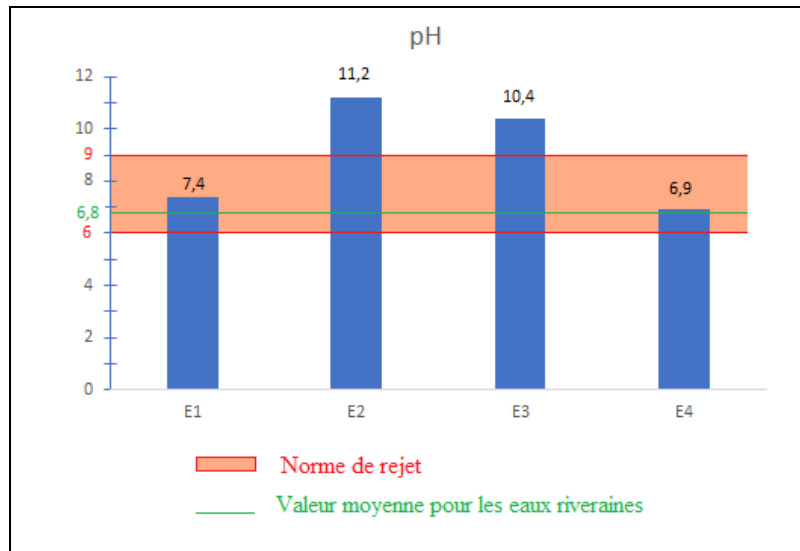
Graphe 1 : Température des eaux

La température des eaux de rejets dépasse la norme car les industries textiles utilisent de l'eau chaude pour le lavage des tissus.

Concernant la température de l'eau de la rivière, pendant le prélèvement c'était la saison d'été et la température ressentie est de l'ordre de 30°C

IV.2- Le pH

La valeur du pH est mesurée in-situ.



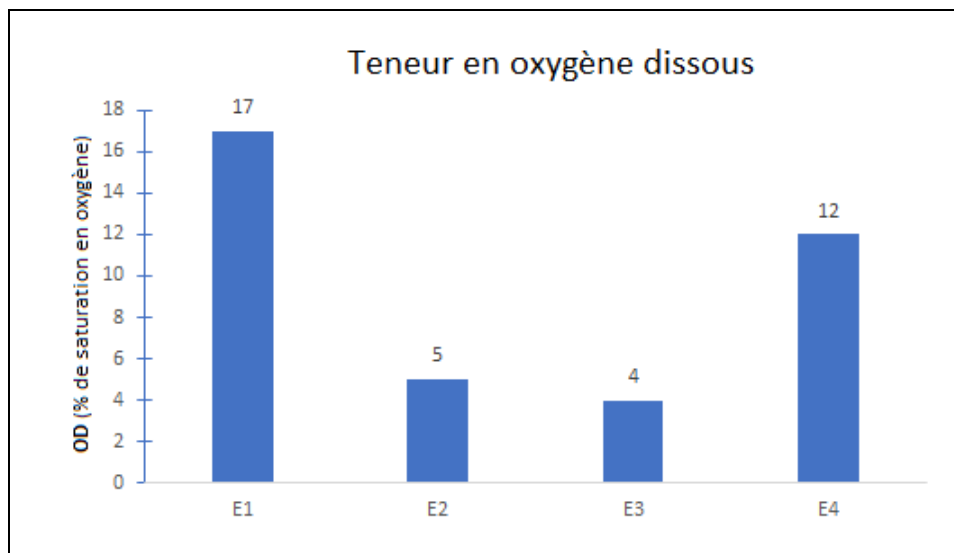
Graphe 2 : pH des eaux

Les pH des rejets sont supérieurs par rapport à la norme de rejet.

Les eaux usées des industries sont basiques à cause de l'utilisation de détergents et d'autres produits chimiques. De plus, la majorité des industries dans cette zone sont des industries textiles, elles utilisent des détergents.

IV.3- L'oxygène dissous

Mesuré in-situ, il est surtout d'origine atmosphérique.

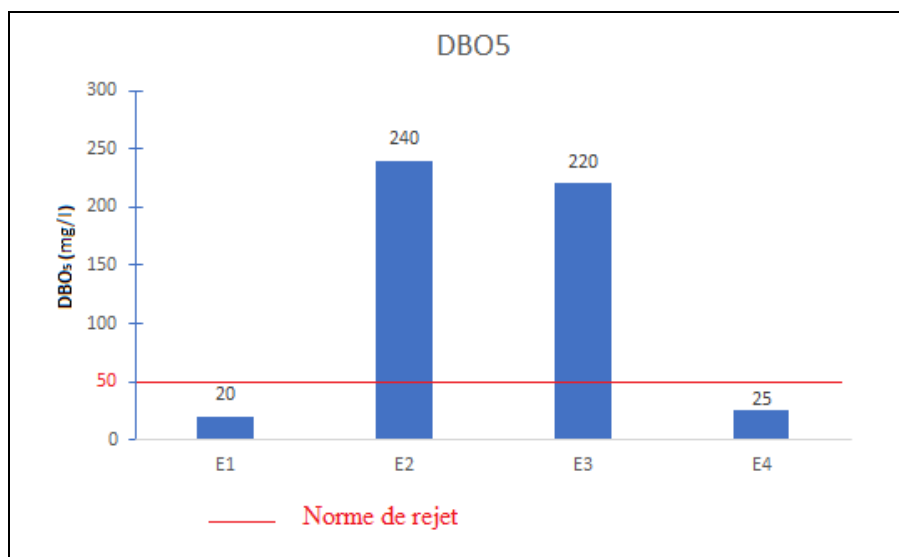


Graphe 3 : Saturation en oxygène dissous

Si le pourcentage en saturation en oxygène est inférieur à 20%, ceci indique que l'eau est hors classe (Ministère de l'environnement, 2003).

La rivière est pauvre en O₂ avec un taux de 17% et de 12%, ceci ne signifie pas la médiocrité de la qualité de l'eau de la rivière car la teneur en OD décroît en fonction de la température (Grier, 2003). De plus, les eaux résiduaires industrielles font diminuer la teneur en OD en aval.

IV.4- La Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours

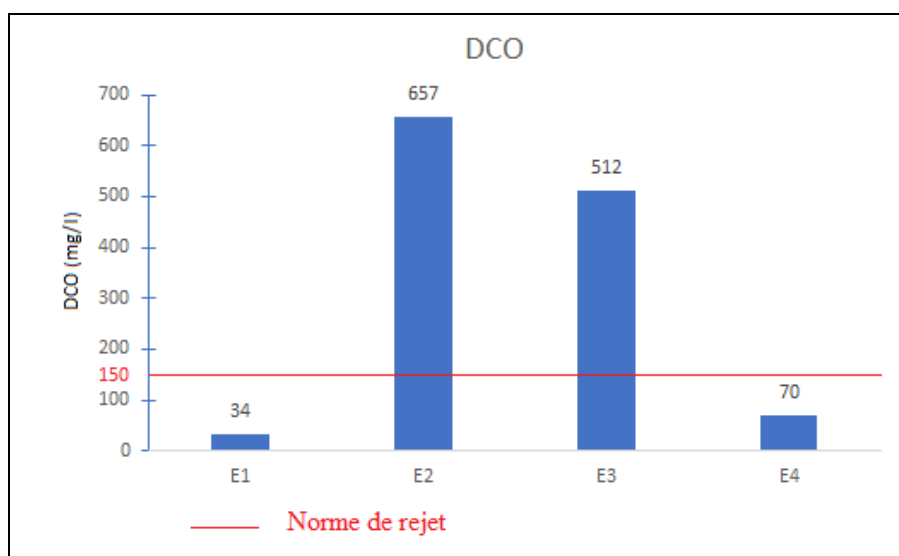


Graphe 4 : DBO₅

Les rejets industriels dépassent largement la norme de rejet à Madagascar qui est de 50mg/l et apportent une charge moyenne de 230 mg/l dans le milieu récepteur.

Ces valeurs élevées sont dues au non traitement des eaux usées qui sont riches en matières organiques et qui demandent plus d'oxygène dissous pour leur biodégradation.

IV.5- La Demande Chimique en Oxygène

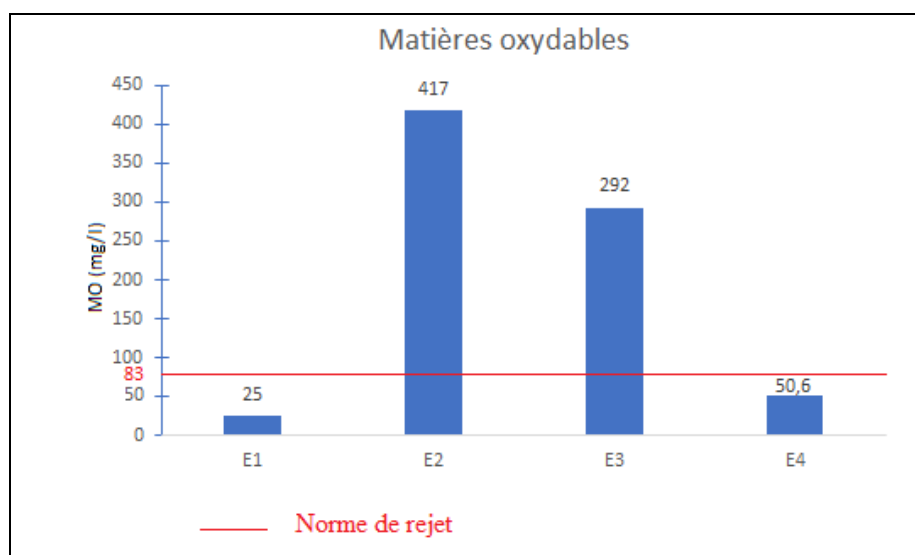


Graphe 5 : DCO

La DCO des eaux résiduaires industrielles sont extrêmement supérieures à la norme de rejet malagasy. La rivière reçoit une charge moyenne de 584,5 g/l. La charge en DCO de l'eau réceptrice a augmenté de 36mg/l de l'amont en aval.

Ces valeurs élevées sont dues au non traitement des eaux usées riches en matières organiques non biodégradables qui demandent plus d'oxygène dissous pour leur dégradation chimique.

IV.6- Les matières oxydables



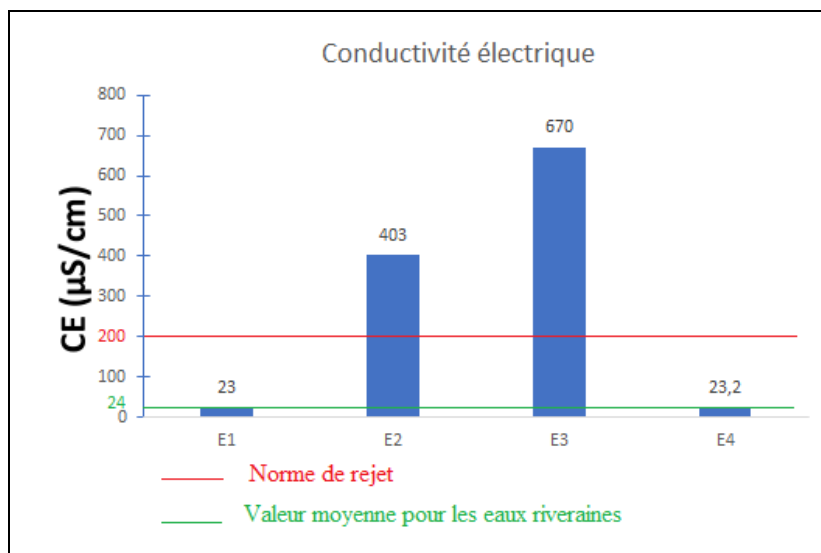
Graphe 6 : Les Matières oxydables

Puisque les valeurs de la DBO5 et de la DCO pour les eaux usées industrielles ne suivent pas les normes, alors il est évident que les valeurs des MO soient supérieures à la norme de rejet.

IV.7- La conductivité électrique

La valeur conductivité est mesurée in-situ.

Elle nous informe sur la salinité et de la minéralisation de l'eau.



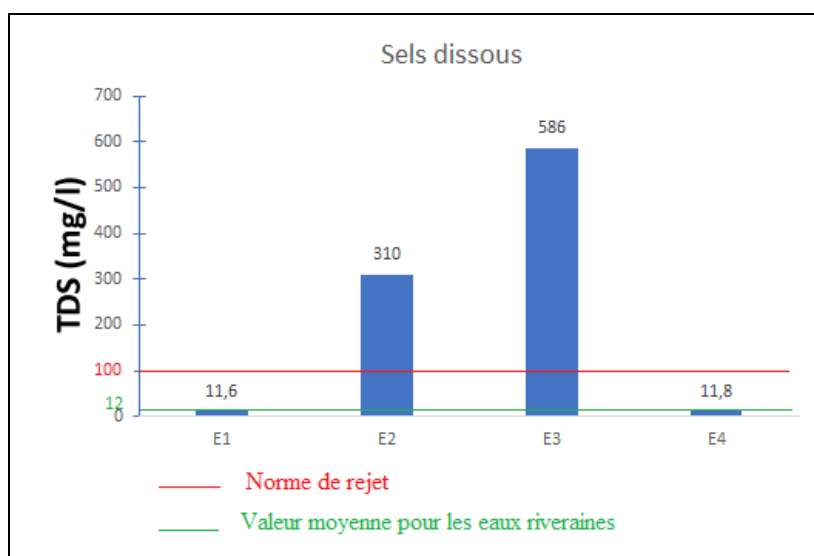
Graphe 7 : Conductivité électrique

Les résultats montrent que la valeur de CE des eaux usées industrielles sont très élevées. Elle est de l'ordre de 403 µS/cm pour l'échantillon 2 rejet n°1 et de l'ordre de 670 µS/cm pour l'échantillon 3 rejet n°2. Elles sont nettement supérieures par rapport à la norme malagasy (200 µS/cm).

Mais par dilution avec la rivière qui a un débit fort de l'ordre de 7,7 m³/s, nous constatons que la situation se stabilise au point d'observation en aval.

IV.8- Les sels dissous (TDS)

Le TDS a été mesuré in-situ.



Graphe 8 : Les sels dissous

Les eaux de rejets industrielles ont une valeur en sels dissous élevée mais nous remarquons que les qualités de l'eau en amont et en aval des rejets sont à peu près les mêmes.

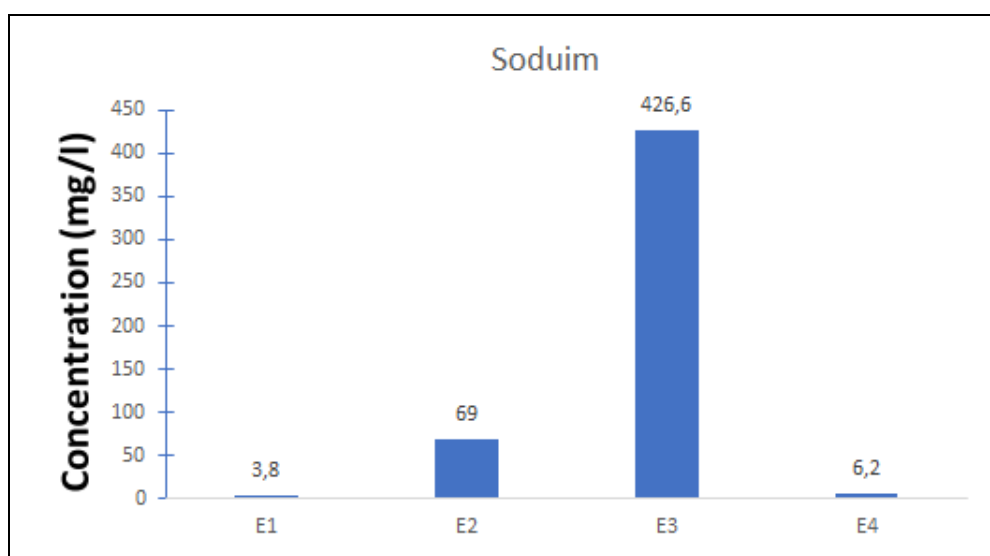
Nous pouvons alors conclure que tout au long de la rivière les sels minéraux des rejets industriels sont dissouts.

IV.9- Cations majeurs

Les cations majeurs sont Na^+ , K^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} .

IV.9.1- Sodium

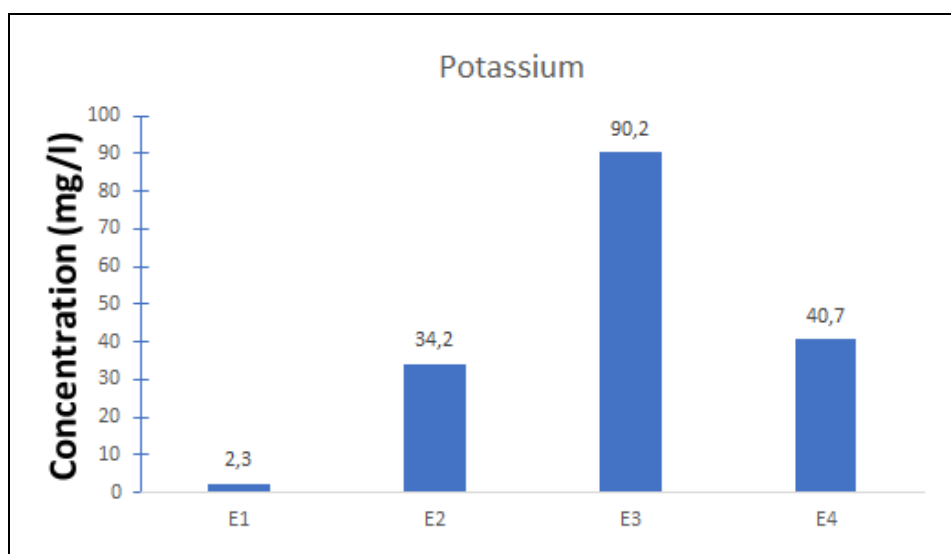
Les industries textiles utilisent des détergents, de la soude et des agents blanchissants qui contiennent des ions de sodium (Rakotobe, 2008)



Graphe 9 : Teneur en sodium

Les eaux de rejet industriel contiennent une certaine quantité de sodium surtout pour le rejet numéro 2. Mais en observant la quantité de Na^+ en aval, nous constatons que l'ion de sodium est dissout le long de la rivière.

IV.9.2- Potassium

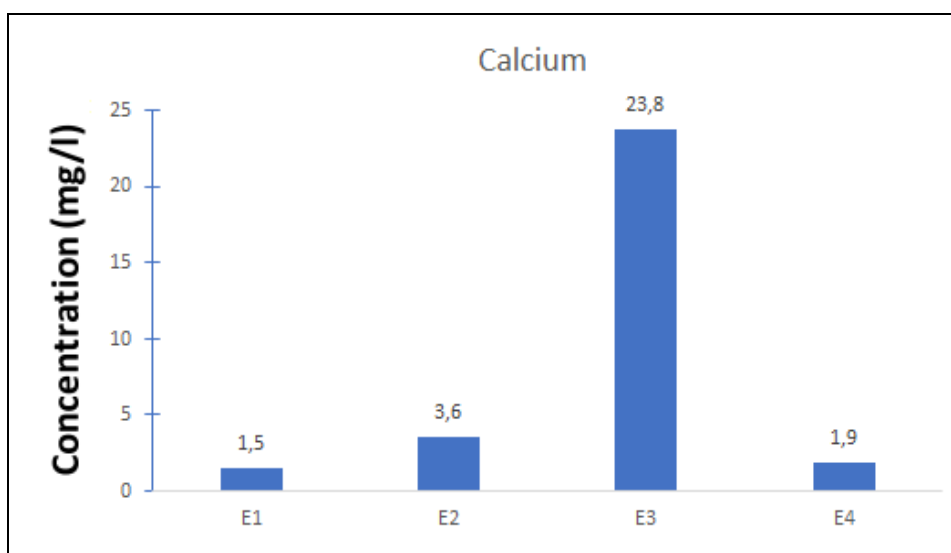


Graphe 10 : Teneur en potassium

Nous constatons que les eaux de rejet des industries apportent une quantité de concentration de potassium à l'eau réceptrice. En aval, la concentration est de l'ordre de 40,7mg/l, qui est fortement concentrée par rapport à l'amont.

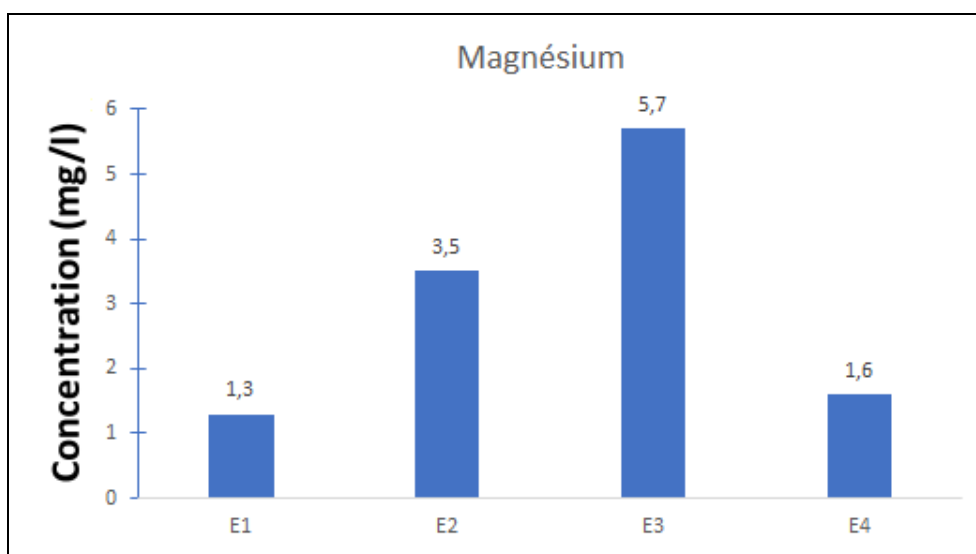
Nous pouvons dire que la rivière n'assure pas correctement l'autoépuration des ions K^+ .

IV.9.3- Calcium



Graphe 11 : Teneur en Calcium

IV.9.4- Magnésium



Graphe 12 : Teneur en Magnésium

IV.10- Les anions majeurs

Les anions majeurs qui font partie de notre étude sont : les nitrates NO_3^- , les chlorures Cl^- et les sulfates SO_4^{2-} . Il existe des normes de rejet malagasy pour ces anions majeurs.

Le tableau suivant représente ces normes de rejets.

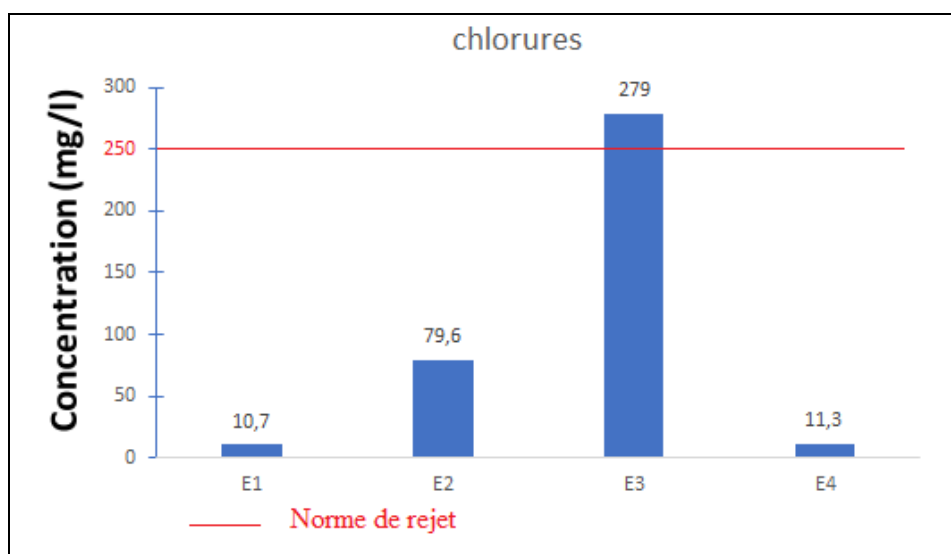
TABEAU V : NORMES DE REJET EN LES ANIONS MAJEURS

Anions	Norme de rejet (mg/l)
Nitrates	15
Chlorures	250
Sulfates	250

Source : Ministère de l'environnement, 2003

Les nitrates seront analysés dans les composés azotés

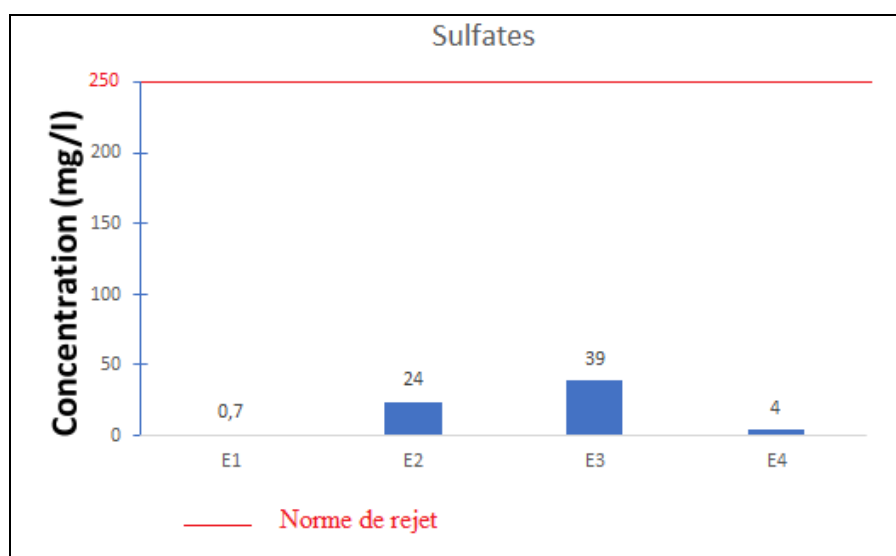
IV.10.1- Chlorures



Graphe 13 : Teneur en chlorures

Les ions chlorures sont présents dans les produits de blanchissement des tissus dans les industries textiles, c'est pourquoi qu'ils sont en quantité élevée surtout pour le deuxième rejet E3. Mais grâce à la dilution, cette concentration est devenue faible en aval.

IV.10.2- Sulfates

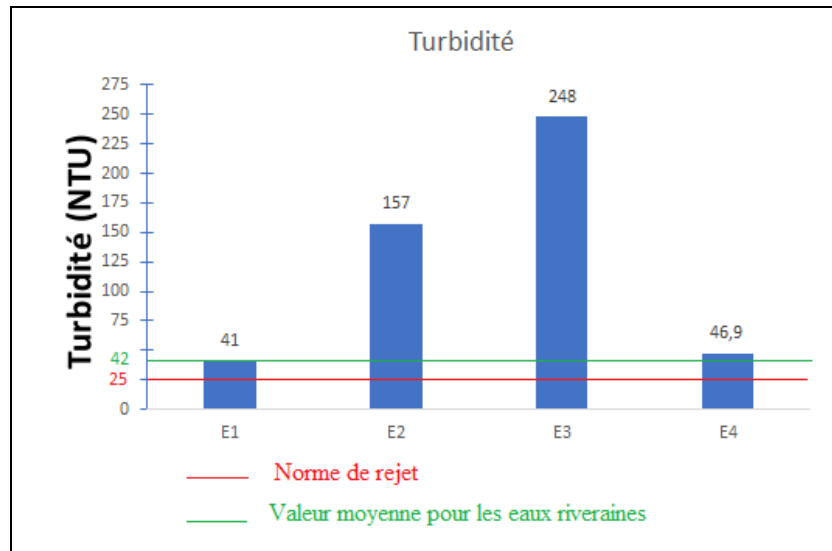


Graphe 14 : Teneur en sulfates

Les concentrations en sulfates dans l'eau de la rivière et dans les eaux usées industrielles sont largement inférieures à la norme de rejet donc les ions sulfates ne présentent aucun risque pour notre zone d'étude.

IV.11- La turbidité

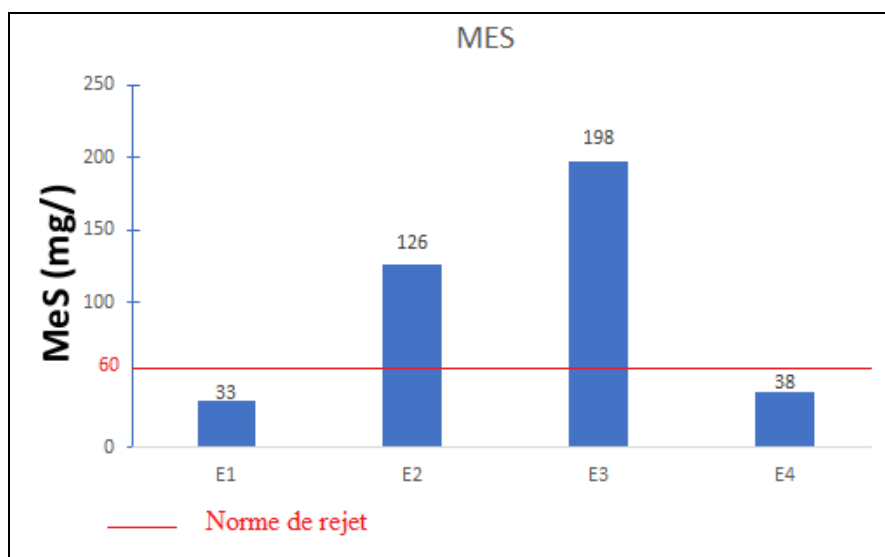
La turbidité est mesurée in-situ à l'aide d'un turbidimètre.



Graphe 15 : Turbidité

L'eau de la rivière en amont E1 a déjà presque au seuil de la valeur limite moyenne. Les rejets industriels sont très troubles, ils dépassent largement la norme de rejet.

IV.12- La teneur en matières en suspension



Graphe 16 : Teneur en matières en suspension

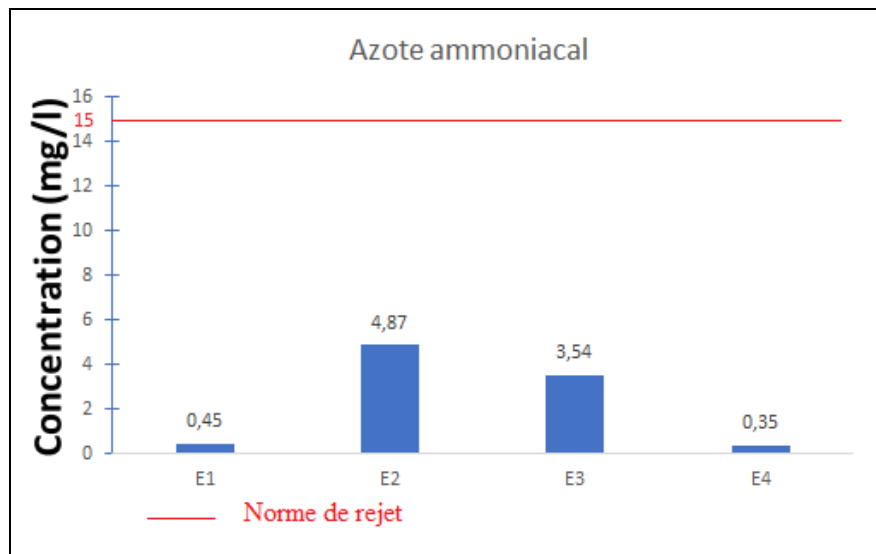
Les matières en suspension dans les eaux de rejet industriel dépassent largement la norme de rejet. Nous avons constaté que la teneur en matières en suspension diminue en aval, ce qui explique le phénomène de décantation et de sédimentation. Les MES proviennent des fibres textiles arrachées par frottement dans la machine à laver (Rakotobe, 2008).

IV.13- Les composés azotés

Les composés azotés sont formés par l'azote organique, l'azote ammoniacal et les azotes oxydés tels que les nitrites et les nitrates.

Dans notre étude, nous allons voir l'azote ammoniacal, les nitrites et les nitrates.

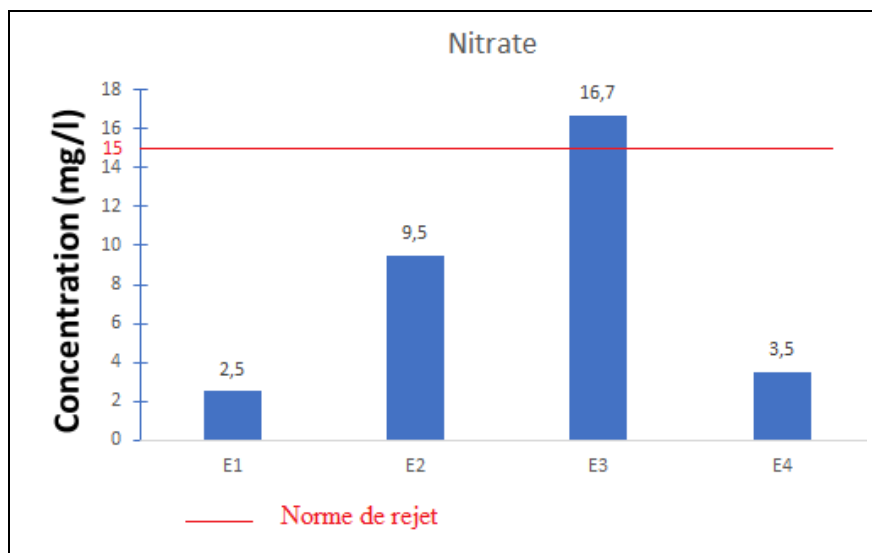
IV.13.1- Azote ammoniacal



Graphe 17 : Teneur en azote ammoniacal

Les eaux de rejet industriel ont une faible concentration en NH_4^+ par rapport à la norme de rejet, ceci pourrait être dû au phénomène nitrification/dénitrification.

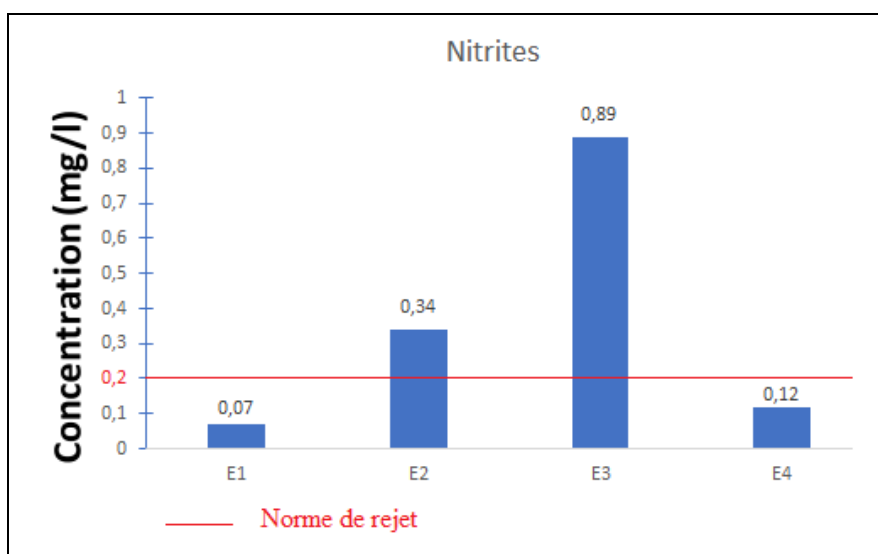
IV.13.2- Nitrates



Graphe 18 : Teneur en nitrates

Les nitrates sont présents dans la rivière mais en faible quantité. Les eaux de rejets industriels E3 ont dépassées la norme de rejet à Madagascar, mais avec la dilution et le pouvoir autoépuration de la rivière cette concentration est devenue très faible au point de suivi en aval.

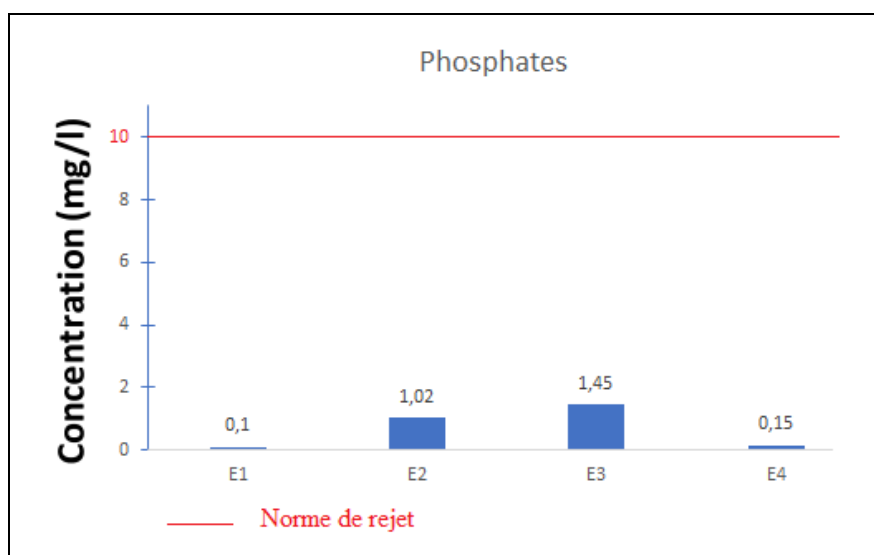
IV.13.3- Nitrites



Graphe 19 : Teneur en nitrites

Les nitrites sont présents dans les eaux usées industrielles car ils sont utilisés comme conservateur et fixateur de couleur c'est pourquoi les industries textiles les utilisent en grande quantité. Le plus souvent utilisé est le nitrite de soude, beaucoup utilisé dans les processus chimiques organique comme produit blanchissant et pour la coloration et les gaufrages textiles (PROQUIP, n.d.).

IV.14- Les phosphates



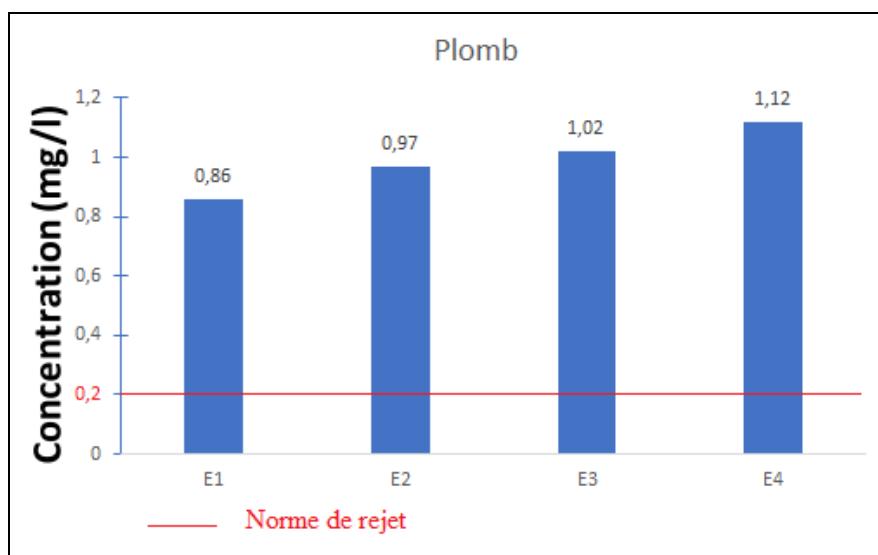
Graphe 20 : Teneur en phosphate

L'eau de la rivière contient du phosphate PO_4^{3-} mais en très petite quantité. Pour les eaux de rejets industrielles, la concentration en phosphate provient de l'utilisation de certains produits chimiques comme les détergents et les adoucissants (cas du phosphate sodique tribasique)

(PROQUIP, n.d.). Malgré la présence dans les eaux usées industrielles, sa concentration reste faible par rapport à la norme de rejet à Madagascar.

IV.15- Les métaux lourds

IV.15.1- Plomb



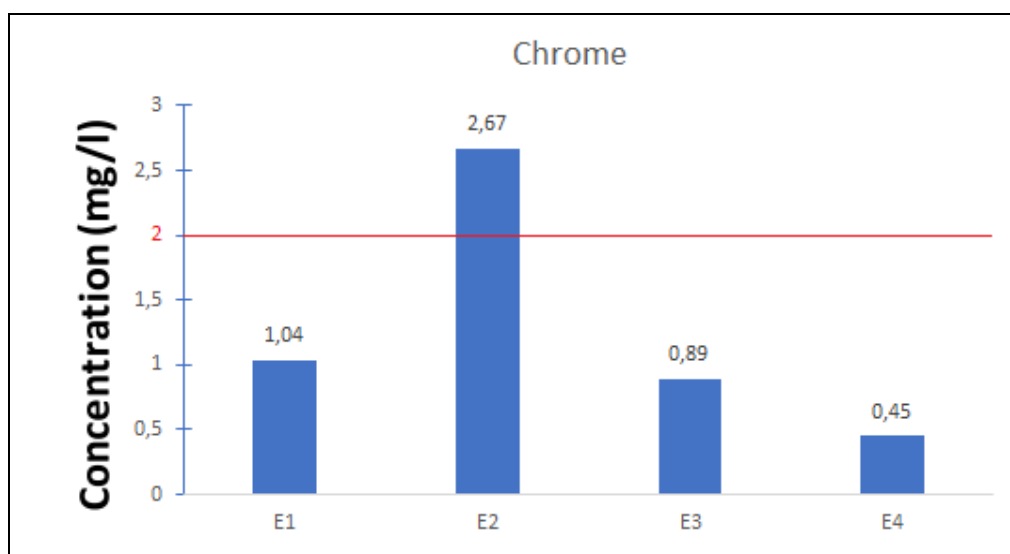
Graphe 21 : Teneur en Plomb

Le plomb est déjà présent dans l'eau de la rivière et dans l'environnement sous forme de composés inorganiques volatils et peu solubles tels que sulfure de plomb, sulfate de plomb ou de carbonate de plomb (Gehrke, 2015). Il est présent dans l'atmosphère à cause de la circulation automobile due à l'utilisation des carburants avec plomb (Rakotobe, 2008).

Les eaux usées industrielles ne respectent pas la norme de rejet et contiennent une certaine quantité de concentration en plomb. Les industries textiles utilisent de l'acétate de plomb pour l'estampage et le teinture (PROQUIP, n.d.) et aussi la canalisation en plomb (Rakotobe, 2008).

Nous constatons une augmentation de la concentration en plomb de l'amont en aval. On peut dire alors qu'il y a une accumulation de concentration en plomb. La rivière ne joue pas un rôle autoépurateur pour le plomb.

IV.15.2- Chrome



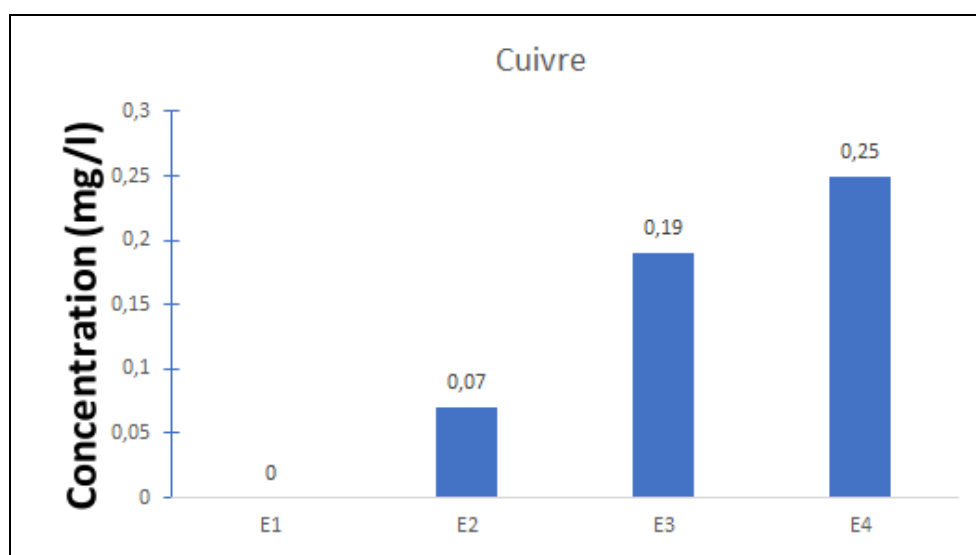
Graphe 22 : Teneur en chrome

Le chrome est présent dans l'environnement sous forme de Cr (III) et Cr (IV) (Gouvernement du Canada, 1994).

A la zone industrielle de E2, la teneur en chrome dépasse la norme de rejet car on a recensé des industries de peinture et de fabrication de l'éponge qui utilisent du bichromate sodique.

Malgré les rejets industriels, la concentration en chrome de la rivière diminue de l'amont en aval. On peut dire alors qu'il y a sédimentation du chrome.

IV.15.3- Cuivre



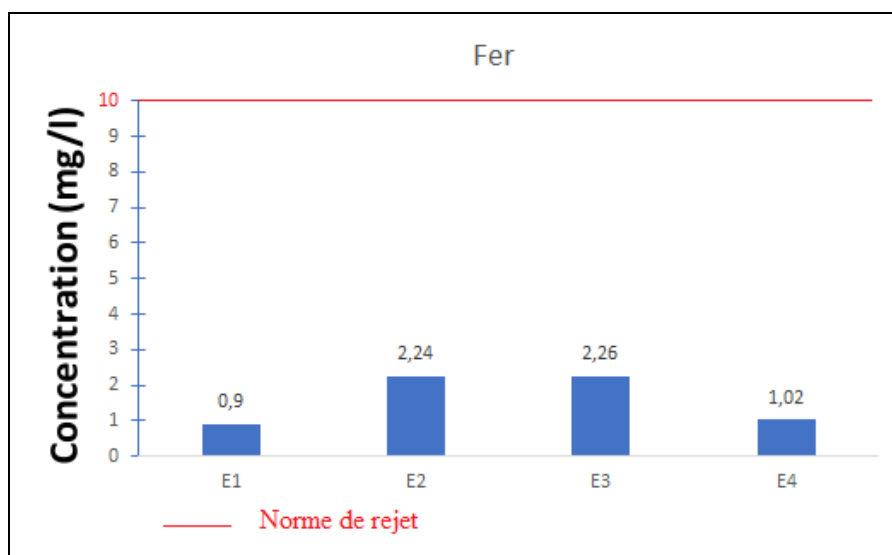
Graphe 23 : Teneur en cuivre

En amont, l'eau de la rivière ne présente aucune concentration en cuivre.

Les eaux de rejet industriel contiennent une quantité de cuivre.

La concentration en cuivre en aval augmente. On peut avancer que le rejet des eaux usées industrielles influe sur l'eau de la rivière avec une certaine accumulation en cet élément.

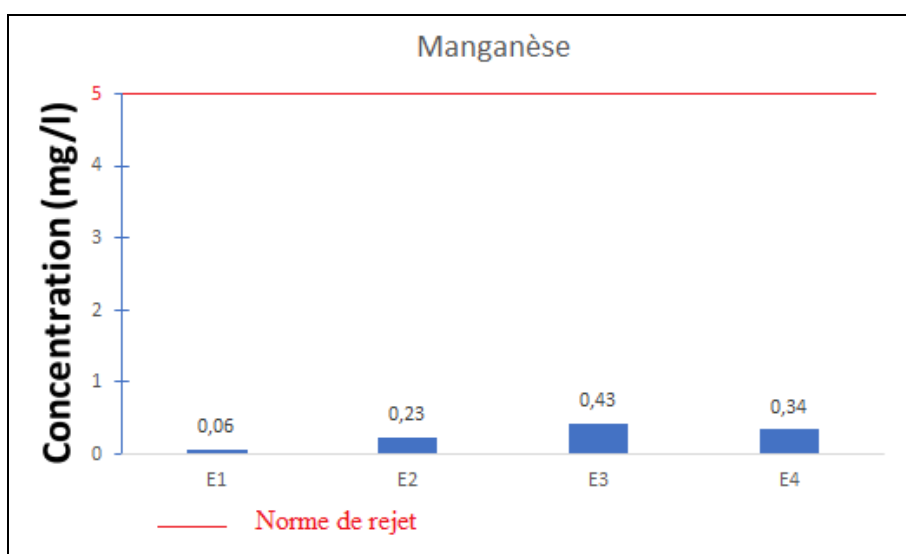
IV.15.4- Fer



Graphe 24 : Teneur en fer

La concentration en fer dans les eaux riveraines et les eaux de rejets industriels sont relativement faibles par rapport à la norme de rejet à Madagascar. Alors la présence du fer dans l'eau est encore tolérable, pour le moment, il ne présente aucun risque pour les organismes aquatiques et pour la population riveraine.

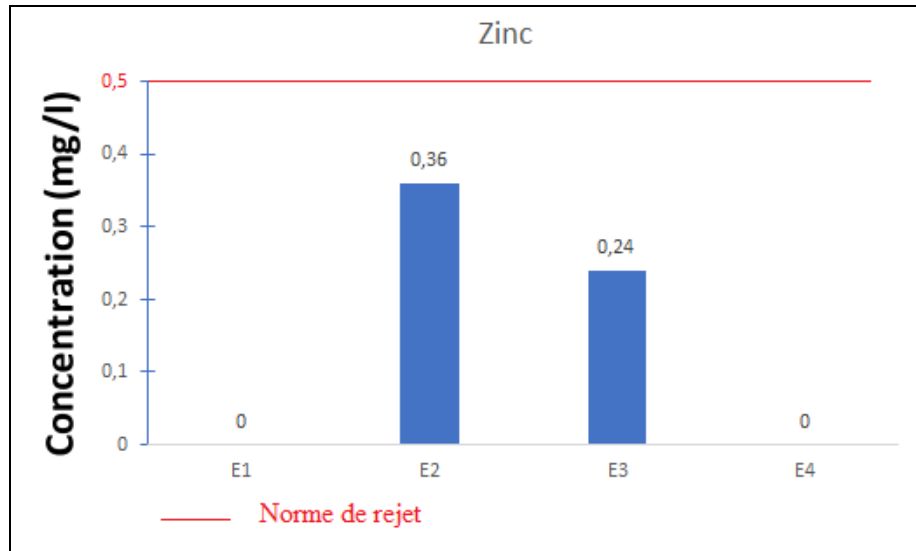
IV.15.5- Manganèse



Graphe 25 : Teneur en Manganèse

La concentration actuelle du manganèse dans l'eau de la rivière et les eaux de rejet industriel ne présente aucun risque pour le milieu récepteur car elle est encore largement inférieure à la norme de rejet.

IV.15.6- Zinc



Graphie 26 : Teneur en Zinc

Nous constatons la présence du zinc dans les eaux de rejet industriel mais sa concentration est en dessous de la norme de rejet.

De plus, les composés formés par les anions et le zinc sont soluble dans l'eau.

Nous pouvons dire alors que la présence du zinc dans les eaux usées industrielles n'a pas d'influence sur la qualité de l'eau de la rivière.

Partie V :
Impacts et proposition de solutions

V.1- Evaluation du risque des rejets

Les valeurs qui sont au-dessus de la norme de rejet présentent des risques pour les organismes aquatiques et pour la population riveraine.

D'après l'analyse des échantillons et l'interprétation des données, certains paramètres et concentrations ont dépassé la norme de rejet et la valeur moyenne pour les eaux riveraines à Madagascar tels que la température, le pH, l'oxygène dissous, le DBO5, le DCO, les matières oxydables, ...

Le tableau suivant représente les origines et les impacts des éléments en concentration hors normes dans l'eau de la rivière et les eaux usées industrielles.

TABEAU VI : ORIGINES ET IMPACTS DE REJET HORS NORME

Paramètres/ Eléments	Origines de la pollution	Impacts
Température	Lavage avec de l'eau chaude	Danger pour l'écosystème aquatique surtout aux alentours des points de rejets des eaux usées industrielles
pH	Utilisation des détergents	Perturbation de la vie aquatique et de la population riveraine qui pratique la baignade et la pêche
Oxygène dissous	atmosphère	Risque pour les personnes qui pratiquent la baignade surtout au voisinage du rejet
DBO5		Destruction de la qualité du milieu récepteur
DCO		Pollution excessive de l'eau de rivière surtout au voisinage du milieu récepteur
Matières Oxydables		Réduction de la teneur en oxygène dissous ce qui entraîne la destruction de la qualité de l'eau de la rivière :

		- odeur désagréable ; - toxique ; - irritation.
Plomb	Soudures, batteries, tuyauteries, les soudures, peintures anti-corrosion (Aaki, 2012) « estampage, gaufrage et teinture textile » (PROQUIP, n.d.)	accumulation dans les organes, retard du développement psychomoteur

V.2- Proposition des outils de gestion

La meilleure solution pour la gestion de la qualité d'une rivière face à la pollution d'origine industrielle est le traitement des eaux usées avant le rejet dans les milieux récepteurs.

De plus, ce traitement est stipulé par la loi à Madagascar mais aucune industrie ne l'applique à cause de la mauvaise gouvernance et du manque de contrôle.

L'outil de gestion que nous avons proposé est le lagunage naturel.

Pourquoi nous avons choisi ce type de traitement ? Ce type est adopté parce que le coût énergétique est très élevé si on veut faire une station d'épuration à boue activée. De plus, à Antananarivo, l'électricité provient encore en partie de l'énergie fossile et dès fois il y a du délestage ou panne d'électricité.

Les bassins de lagunage ne font pas le traitement des métaux lourds alors que les eaux usées sont chargées en une quantité supérieure aux normes de rejet pour le plomb et le chrome. Il faut donc les éliminer avant l'entrée ou à la sortie des bassins.

D'après l'étude faite par Aaki en 2012, concernant « *l'élimination des métaux lourds aux eaux usées industrielles et naturelles par le procédé d'infiltration-percolation* », ces métaux lourds peuvent être éliminés sur le lit de sable par la méthode infiltration percolation (Aaki, 2012).

Cette technique a déjà donné des résultats satisfaisants dans plusieurs stations d'épuration au Maroc (Aaki, 2012).

V.2.1- Dimensionnement des bassins de lagunage (Mara, 1980)

Les bassins de lagunage doivent comporter au moins trois (3) bassins dont deux bassins facultatifs et un bassin de maturation (Cours Pr HASSAN, 2018).

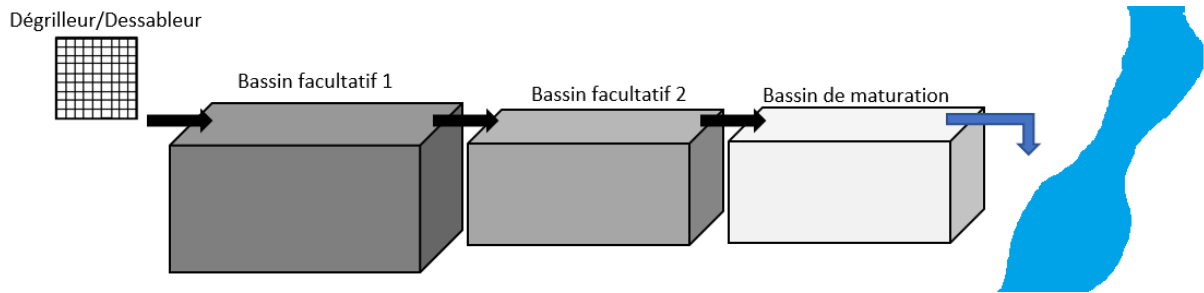


Photo n°6 : Configuration des bassins de lagunage naturel

Pour le dimensionnement de ces bassins, il existe plusieurs méthodes.

Pour notre cas, le calcul sera basé sur la réduction de la DBO₅ avec les méthodes rationnelles.

Ces méthodes consistent à déterminer le temps de séjour hydraulique R et la dégradation de la matière organique (DBO₅).

V.2.1.1- Temps de séjour R

Le temps de séjour sera calculé à partir de la concentration de la DBO₅ à l'entrée de la station (L₀) et de la concentration recherchée à la sortie (L) qui est la norme législative de rejet.

L'équation est la suivante :

$$R = \frac{L_0 - L}{kL} \quad (1)$$

avec $k = 1,2 * 1,085^{t-35}$ où t =température

Applications numériques

L₀=240mg/l

L=50mg/l

t=20°C

$$k = 1,2 * 1,085^{20-35}$$

$$k = 0,35$$

$$R = \frac{240 - 50}{0,35 * 50}$$

R=10,20 jours

Le temps de séjour est de 10,20 jours

V.2.1.2- Volume des bassins V

Le volume est déterminé à partir de l'équation (2) suivante :

$$V = R * Q_0 \quad (2)$$

avec Q_0 =débit à l'entrée

Cette équation est valable si le débit à l'entrée est égal au débit à la sortie

Application numérique

$R=10,20$ jours

$Q_0=1757 \text{ m}^3/\text{j}$

$V=10,20*1757$

$V=17920 \text{ m}^3$

V.2.1.3- Surface des bassins

$$S = \frac{V}{d} \quad (3)$$

avec d =profondeur moyenne des bassins

Application numérique

$V=17920 \text{ m}^3$

$d=1,2 \text{ m}$

$$S = \frac{17920}{1,2}$$

$S=14933 \text{ m}^2$

V.2.1.4- Surface, volume et temps de séjour pour chaque bassin

V.2.1.4.1- Pour le bassin facultatif 1

a- Surface BF1

Le bassin facultatif 1 représente 40% de l'ouvrage

$$SBF1=S*0,4 \quad (4)$$

Application numérique

$S=14933 \text{ m}^2$

$SBF1=14933*0,4$

$SBF1=5973 \text{ m}^2$

b- Volume BF1

$$VBF1 = SBF1 * d1 \quad (5)$$

avec d1= profondeur du BF1

Application numérique

$$SBF1 = 5973 \text{ m}^2$$

$$d1 = 1,5 \text{ m}$$

$$VBF1 = 5973 * 1,5$$

$$VBF1 = 8960 \text{ m}^3$$

c- Temps de séjour R1

$$R_1 = \frac{VBF1}{Q_0} \quad (6)$$

Application numérique

$$VBF1 = 8960 \text{ m}^3$$

$$Q_0 = 1757 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$R_1 = \frac{8960}{1757}$$

$$R_1 = 5,10 \text{ jours}$$

V.2.1.4.2- Pour le bassin facultatif 2**a- Surface BF2**

Le bassin facultatif 2 représente 30% de l'ouvrage

$$SBF2 = S * 0,3 \quad (7)$$

Application numérique

$$S = 14933 \text{ m}^2$$

$$SBF2 = 14933 * 0,3$$

$$SBF2 = 4480 \text{ m}^2$$

b- Volume BF2

$$VBF2 = SBF2 * d2 \quad (8)$$

avec d2= profondeur du BF2

Application numérique

$$SBF2 = 4480 \text{ m}^2$$

$$d_2=1\text{m}$$

$$VBF_2=4480*1$$

$$VBF_2=4480 \text{ m}^3$$

c- Temps de séjour R2

$$R_2 = \frac{VBF_2}{Q_0} \quad (9)$$

Application numérique

$$VBF_2=4480 \text{ m}^3$$

$$Q_0=1757\text{m}^3/\text{j}$$

$$R_2 = \frac{4480}{1757}$$

$$R_2=2,55 \text{ jours}$$

V.2.1.4.3- Pour le bassin de maturation

a- Surface BM

Le bassin de maturation représente 30% de la surface totale de l'ouvrage

$$SBM=S*0,3 \quad (10)$$

Application numérique

$$S=14933 \text{ m}^2$$

$$SBM=14933*0,3$$

$$SBF_1=4480 \text{ m}^2$$

b- Volume BM

$$VBM=SBM*d_3 \quad (11)$$

avec d_3 = profondeur du BM

Application numérique

$$SBM=4480 \text{ m}^2$$

$$d_3=1 \text{ m}$$

$$VBM=4480*1$$

$$VBM=4480 \text{ m}^3$$

c- Temps de séjour R1

$$R3 = \frac{VBM}{Q_0} \quad (12)$$

Application numérique

$$VBM=4480 \text{ m}^3$$

$$Q_0=1757 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$R3 = \frac{4480}{1757}$$

$$R3=2,55 \text{ jours}$$

V.2.1.5- Calcul de la DBO₅ et du rendement à la sortie de chaque bassin

a- Pour le bassin facultatif 1

Le DBO₅ à la sortie de la bassin facultatif 1 sera déterminé à partir de l'équation (13) suivante :

$$L_1 = \frac{L_0}{kR_1 + 1} \quad (13)$$

Pour le rendement Rdt₁ au niveau du bassin facultatif 1 sera donné par l'équation (14),

$$Rdt_1 = \frac{L_0 - L_1}{L_0} \quad (14)$$

Application numérique

$$L_0=230 \text{ mg/l}$$

$$k=0,35$$

$$R_1=5,10 \text{ j}$$

$$L_1 = \frac{230}{0,35 * 5,10 + 1}$$

$$L_1 = 82,14 \text{ mg/l}$$

Pour le rendement,

$$Rdt_1 = \frac{230 - 82,14}{230}$$

$$Rdt_1 = 64\%$$

A la sortie du bassin facultatif 1, le DBO₅ sera réduit de 64% par rapport à la DBO₅ à l'entrée

b- Pour le bassin facultatif 2

Le DBO₅ à la sortie du bassin facultatif 2 L₂,

$$L_2 = \frac{L_1}{kR_2 + 1} \quad (15)$$

Pour le rendement,

$$Rdt_2 = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \quad (16)$$

Application numérique

$$L_1 = 82,14 \text{ mg/l}$$

$$k = 0,35$$

$$R_2 = 2,55 \text{ j}$$

$$L_2 = \frac{82,14}{0,35 * 2,55 + 1}$$

$$L_2 = 43,23 \text{ mg/l}$$

Pour le rendement,

$$Rdt_2 = \frac{82,14 - 43,23}{82,14}$$

$$Rdt_2 = 47\%$$

A la sortie du bassin facultatif 2, le DBO₅ sera réduit de 47% par rapport à la DBO₅ à la sortie du bassin facultatif 1

c- Pour le bassin de maturation

Le DBO₅ à la sortie du bassin facultatif 2 L₃,

$$L_3 = \frac{L_2}{kR_3 + 1} \quad (17)$$

Pour le rendement,

$$Rdt_3 = \frac{L_2 - L_3}{L_2} \quad (18)$$

Application numérique

$$L_2 = 43,23 \text{ mg/l}$$

$$k = 0,35$$

$$R_3 = 2,55 \text{ j}$$

$$L_3 = \frac{43,23}{0,35 * 2,55 + 1}$$

$$L_3 = 22,75 \text{ mg/l}$$

Pour le rendement,

$$Rdt_3 = \frac{43,23 - 22,75}{43,23}$$

$$Rdt_3 = 47\%$$

A la sortie du bassin de maturation, le DBO₅ sera réduit de 47% par rapport à la DBO₅ à la sortie du bassin facultatif 2.

V.2.1.6- Rendement global

Le rendement global permet de savoir l'efficacité du traitement en faisant le rapport entre la DBO₅ à l'entrée et à la sortie des bassins suivant l'équation (19).

$$Rdt_{global} = \frac{L_0 - L_3}{L_0} \quad (19)$$

Application numérique

$$L_0 = 230 \text{ mg/l}$$

$$L_3 = 22,75 \text{ mg/l}$$

$$Rdt_{global} = \frac{230 - 22,75}{230}$$

$$Rdt_{global} = 90\%$$

TABLEAU VII : RECAPITULATION DE DIMENSIONNEMENT ET RENDEMENT D'ABATTEMENT DBO₅

	Temps de séjour (j)	Volume (m ³)	Surface (m ²)	DBO5 à la sortie (mg/l)	Rendement (%)
Bassin facultatif 1	5,10	8960	5973	82,14	64
Bassin facultatif 2	2,55	4480	4480	43,23	47
Bassin de maturation	2,55	4480	4480	22,75	47
Rendement global					90

Après calcul, nous avons remarqué que le système a une efficacité de 91%, c'est-à-dire ça réduit le DBO₅ à l'entrée de 90% en passant de 230 mg/l à 22,75 mg/l.

Nous pouvons dire que le système est bien dimensionné et efficace pour traiter les eaux usées industrielles provenant de ces deux zones industrielles.

V.3- Perspectives et discussions

Les installations de ce lagunage naturel et de ce lit de sable pour infiltration-percolation sont importantes pour mieux protéger le milieu récepteur même si nous avons remarqué que certains polluants sont disparus au point d'observation en aval à environ 2 km des points de rejets. Ces faibles concentrations en aval sont dues soit au phénomène de sédimentation, soit à la dilution ou les deux.

Pour l'installation de cet ouvrage, il existe encore des terrains domaniaux aux alentours de la zone où les industries peuvent acheter des terrains aux particuliers.

Il faut que le gouvernement et les ministères concernés exigent l'application de la loi et des décrets sur le traitement des eaux usées industrielles avant le rejet.

Les eaux traitées issues des bassins peuvent être utilisées à des fins agricoles.

L'Etat peut aussi étendre la station en pensant à faire le traitement des eaux usées domestiques des ménages environnants car la majorité de la population riveraine déverse leurs eaux usées brutes dans cette rivière.

CONCLUSION

La rivière Ikopa représente une grande utilité pour les habitants avoisinants. Malheureusement, elle est devenue un site de rejet des toutes les eaux usées domestiques et industrielles.

Visuellement les eaux de rejets industriels sont colorées selon les produits utilisés et les produits à laver. Cette coloration a été constatée et jusqu'à quelques mètres des points de rejet.

Ces eaux entraînent la pollution de la rivière et présentent des impacts pour les organismes aquatiques et surtout pour la population riveraine qui y pratique la baignade, la pêche, l'agriculture et la lessive.

D'après les analyses, les eaux usées industrielles présentent des dangers car elles ne respectent pas les normes de rejet industriel selon les textes mis en vigueur à Madagascar. Ces eaux proviennent essentiellement des industries textiles situées de part et d'autre de la rivière. Actuellement, elles sont au nombre de 38.

Vue la qualité des eaux usées industrielles, la mise en place des bassins de lagunages naturels et un lit de sable (pour éliminer les métaux lourds) donne des résultats satisfaisants pour le traitement de ces rejets industriels. Cette technique est simple et efficace pour dépolluer les eaux usées. Le seul inconvénient est l'occupation des espaces. Pour le rendement d'épuration, l'abattement de DBO_5 de 90% a été constaté. Les eaux épurées qui sortent du bassin à la fin du traitement pourront utiliser à des fins agricoles.

Concernant, le pouvoir d'autoépuration de la rivière, certains paramètres en concentration élevée dans le rejet disparaissent au point de mesure en aval, ce qui explique que ce phénomène se produit soit par dilution, soit par sédimentation.

Pour gérer la pollution de l'eau et la préservation de l'environnement, il est important d'appliquer les textes législatifs, prendre des mesures et faire des suivis et contrôles systématiques des rejets pour chaque industrie tout en évitant la corruption.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET WEBOGRAPHIQUES

- Aaki, R. (2012). Elimination des métaux lourds (Cd, Pb, Cr, Zn et As) des eaux usées industrielles et naturelles par le procédé d'infiltration-percolation. *Thèse Doctorat. Université Ibnou Zohr, Faculté Des Sciences, Agadir.*, 149 p.
- Andriamady, R. ' A. (2018). *Etude de la capacité adsorbante de deux pouzzolanes de Betafo. Application : traitements des effluents textiles.*
- Communautés européennes. (1991). DIRECTIVE DU CONSEIL du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (9 1 /27 1 /CEE). *Journal Officiel Des Communautés Européennes*, N0 L 135/4, 1–66. Retrieved from <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:31991L0271&from=FR>
- Gehrke, I. (2015). Tableau de bord. *Controlling*, 15(9), 503–504. <https://doi.org/10.15358/0935-0381-2003-9-503>
- Gouvernement du canada. (1994). *Le chrome et ses composés.*
- Grier, M. (2003). *Impact environnemental des seuils en riviere. Etude bibliographique.* 103. Retrieved from <http://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/6249>
- Kolller, E. (2004). Traitement des pollutions industrielles : eau - air - déchets - sol - boues. *Série Environnementale et Sécurité. Edition DUNOD*, 424 p.
- Mara, D. D. (1980). Sewage treatment in hot climates. *Edition JohnWilley and Sons.*
- Merghem, K. A. (2016). Traitement et Valorisation agricole des eaux usées de la ville de Sana'a : Etudes des performances épuratoires des boues activées et de l'impact des effluents épurés et bruts sur la qualité des eaux du bassin hydraulique de Sana'a(Yémen). *Thèse de Doctorat, (Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences Oujda).*
- Mines, M. de l'Energie et des. (2003a). *Décret n° 2003/192 fixant l'organisation, les attributions et le fonctionnement de l'ANDEA.*
- Mines, M. de l'Energie et des. (2003b). *Décret n°2003/191 portant création des agences de bassins et fixant leur organisation, attributions et fonctionnement.*
- Mines, M. de l ' E. et des. (2003). *DECRET N° 2003-939 portant organisation, attribution, fonctionnement et financement de l'Organisme Régulateur du Service Public de l'Eau et de l'assainissement (SOREA).* 1–40.
- Ministère de l'Eau. (1999). Loi n° 98-029 du 20 janvier 1999 portant Code de l'Eau. *Journal*

- Officiel N° 2557 E.S. Du 27.01.99, p. 735, 19(11), 3–7.
- Ministère de l'Eau. (2003). *Décret n° 2003/943 du 09 septembre 2003 relatif aux déversements, écoulements, rejets, dépôts directs ou indirects dans les eaux.* (Mm), 1–18.
- Ministère de l'Environnement. (1999). *LOI N° 99-021 DU 19 AOÛT 1999 sur la politique de gestion et de contrôle des pollutions industrielles.*
- Ministère de l'environnement, république de M. (2003). *Decret 2003/464 du 15 Avril 2003 portant classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides.*
- PNUE. (2002). *L'avenir de l'environnement mondial 3. GEO-3 (Vol. 3).* Retrieved from http://books.google.fr/books?id=yctAuujcj3wC&pg=PR18&lpg=PR18&dq=pnue+l'avenir+de+l'environnement+mondial+3&source=bl&ots=nm1VQtu0L-&sig=8J-VJxdVOru6s1dR5B_A1NCOlng&hl=en&sa=X&ei=MQWRUY3rBsyXhQeAg4CwCw&ved=0CGMQ6AEwBQ#v=onepage&q=pnue+l'avenir+de+l'enviro
- PROQUIP, C. products. (n.d.). *Produits chimiques pour l'industrie.* Retrieved from http://www.proquipsa.com/cataleg/fr/cataleg_quimics_fr.pdf
- Rakotoarivony, N. A. F., & Ralambo Ratsimivony, A. (2016). *Etude de l'efficacité des traitements physico-chimiques et biologiques de l'eau usée de l'industrie textile d'Andraharo , Antananarivo.* 51.
- Rakotobe, R. V. (2008). *Etat de pollution du fleuve Ikopa entre Tanjombato Et Anosizato (Antananarivo).* 82. Retrieved from http://madadoc.irenala.edu.mg/documents/11545_EVALUATION_DE_LA_QUALITE_PHYSICO-CHIMIQUE.pdf
- Ramisaso, T. M. (2014). *Contribution à l'étude d'une station de traitement des eaux usées : Cas de l'usine Havamad Andranomena.*
- Raonimaharivo, R. R. M. (2010). *Apport des prospections géophysiques à la caractérisation des domaines hydrogéologiques du Haut Bassin Versant Ikopa, Zone du socle cristallin (Hautes Terres de Madagascar).*
- Ravelonandrasana Fetisoa, M. (2018). *Caractérisation physico-chimique des effluents d'une industrie textile et essais d'amélioration du système d'épuration (Cas de l'Entreprise Epsilon Andranotapahina Talatamaty).* Retrieved from http://biblio.univ-antananarivo.mg/pdfs/ravelonandrasanaFetisoaMonia_PC_MAST2_18.pdf

ANNEXES

Annexe 1 : DECRET N° 2003/464 DU 15 AVRIL 2003 PORTANT CLASSIFICATION DES EAUX DE SURFACE ET REGLEMENTATION DES REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES

REPUBLIQUE DE MADAGASCAR
Tanindrazana – Fahafahana – Fandrosoana

MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT

Décret n° 2003/464 du 15/04/03

PORTANT CLASSIFICATION DES EAUX DE SURFACE ET REGLEMENTATION DES REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES

Le Ministre de l'Environnement,

Vu la Constitution,

Vu la loi n°90.033 du 21 Décembre 1990 relative à la Charte de l'Environnement Malagasy et ses modificatifs

Vu la loi 98.029 du 20 janvier 1999 portant Code de l'Eau

Vu la loi 99.021 du 19 août 1999 portant politique de gestion et de contrôle des pollutions d'origine industrielle

Vu le décret 2002-450 du 16 Juin portant nomination du Premier Ministre, Chef du Gouvernement

Vu les Décrets n° 2002-451 du 18 Juin 2002 modifié par le décret n° 2002-496 du 02 Juillet 2002 et le décret 2002-493 du 24 Juin 2002 portant nomination des Membres du Gouvernement

Vu le Décret n° 2002-493 du 24 Juin 2002 modifié par le Décret n° 2002-810 du 07 Août 2002 fixant les attributions du Ministre de l'Environnement ainsi que l'organisation générale de son Ministère.

Sur proposition du Ministre de l'Environnement

En conseil du Gouvernement,

DECRETE :

Article 1 : Le présent texte porte sur la classification des eaux de surface et sur les normes de rejet d'effluents aqueux dans le milieu naturel.

Article 2 : Le présent texte est applicable à tous les établissements (publics ou privés) et à tous les secteurs d'activités économiques.

Article 3 : Les eaux de surface (cours d'eau, lacs et tous plans d'eau) sont classées de la manière suivante:

Classe A: bonne qualité, usages multiples possibles

Classe B: qualité moyenne, loisirs possibles, baignade pouvant être interdite

Classe C: qualité médiocre, baignade interdite

HC: hors classes, contamination excessive, aucun usage possible à part la navigation. La présence de germes pathogènes désigne directement une catégorie hors classes.

C'est le paramètre le plus mauvais qui déterminera la classe d'une eau donnée.

PARAMETRES	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	HORS CLASSES
FACTEURS BIOLOGIQUES				
Oxygène dissous (mg/l)	5≤OD	3<OD≤5	2<OD≤3	OD<2
DBO ₅ (mg/l)	DBO≤5	5<DBO≤20	20<DBO≤70	70<DBO
DCO (mg/l)	DCO≤20	20<DCO≤50	50<DCO≤100	100<DCO
Présence de germes pathogènes	Non	Non	Non	Oui
FACTEURS PHYSIQUES ET CHIMIQUES				
Couleur (échelle Pt-Co)	coul<20	20≤coul≤30	30<coul	
Température (°C)	θ<25	25≤θ<30	30≤θ<35	35<θ
pH	6,0≤pH≤8,5	5,5<pH<6,0 ou 8,5<pH<9,5	pH≤5,5 ou 9,5<pH	
MES (mg/l)	MES<30	30≤MES<60	60≤MES<100	100<MES
Conductivité (μS/cm)	χ≤250	250<χ≤500	500<χ≤3000	3000<χ

Article 4 : Sont notamment considérés comme des rejets liquides polluants:

- les eaux usées provenant des infrastructures hôtelières;
- les effluents industriels provenant de tous types d'activités de production manufacturière ou de transformation;
- les eaux de vidange provenant des activités touchant les hydrocarbures (station de service, eaux de lavage véhicules, garages de réparation de véhicules, unités de stockage);

Article 5 : Afin de préserver les ressources en eau (objectifs de qualité), les rejets d'eaux usées doivent être incolores et respecter la qualité suivante:

PARAMETRES	UNITE	NORMES
FACTEURS ORGANOLEPTIQUES ET PHYSIQUES		
pH		6,0 - 9,0
Conductivité	μs/cm	200
Matières en suspension	mg/l	60
Température	°C	30
Couleur	échelle Pt/Co	20
Turbidité	NTU	25
FACTEURS CHIMIQUES		
Dureté totale comme CaCO ₃	mg/l	180,0
Azote ammoniacal	mg/l	15,0
Nitrates	mg/l	20,0
Nitrites	mg/l	0,2
NTK (azote total Kjeldahl)	mg/l-N	20,0

Phosphates comme PO_4^{3-}	mg/l	10,0
Sulfates comme SO_4^{--}	mg/l	250
Sulfures comme S^{--}	mg/l	1,0
Huiles et graisses	mg/l	10,0
Phénols et crésols	mg/l	1,0
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	mg/l	1,0
Agents de surface (ioniques ou non)	mg/l	20
Chlore libre	mg/l	1,0
Chlorures	mg/l	250
FACTEURS BIOLOGIQUES		
Demande chimique en oxygène (DCO)	mg/l	150
Demande biochimique en oxygène (DBO ₅)	mg/l	50
FACTEURS INDESIRABLES		
METAUX		
Aluminium	mg/l	5,0
Arsenic	mg/l	0,5
Cadmium	mg/l	0,02
Chrome hexavalent	mg/l	0,2
Chrome total	mg/l	2,0
Fer	mg/l	10,0
Nickel	mg/l	2,0
Plomb	mg/l	0,2
Fluorure	mg/l	1,0
Etain	mg/l	10,0
Zinc	mg/l	0,5
Manganèse	mg/l	5,0
Mercurure	mg/l	0,005
Sélénium	mg/l	0,02
PARAMÈTRES	UNITE	NORMES
AUTRES SUBSTANCES		
Cyanures	mg/l	0,2
Aldéhydes	mg/l	1,0
Solvants aromatiques	mg/l	0,2
Solvants azotés	mg/l	0,1
Solvants chlorés	mg/l	1,0
Pesticides organochlorés	mg/l	0,05
Pesticides organophosphorés	mg/l	0,1
Pyréthroïdes	mg/l	0,1
Phénylpyrrazoles	mg/l	0,05
Pesticides totaux	mg/l	1,0
Antibiotiques	mg/l	0,1
Polychlorobiphényles	mg/l	0,005
RADIOACTIVITÉ	Bq	20

Annexe 2 : Résultats des analyses des échantillons

	A	B	C	D	E	F
1		E1	E2	E3	E4	Normes
2	Température	26	32,1	31,4	25,4	30
3	pH	7,4	11,2	10,4	6,9	6 à 9
4	Conductivité électrique	23	403	670	23,2	200
5	Sels dissous	11,6	310	586	11,8	100
6	Turbidité	41	157	248	46,9	25
7	saturation en oxygène dissous	17	5	4	12	
8	DBO5	20	240	220	25	50
9	DCO	34	657	512	70	150
10	Matières oxydables	25	417	292	50,6	83
11	Cations majeurs					
12	Sodium	3,8	69	426,6	6,2	
13	Potassium	2,3	34,2	90,2	40,7	
14	Calcium	1,5	3,6	23,8	1,9	
15	Magnésium	1,3	3,5	5,7	1,6	
16	Anions majeurs					
17	Nitrate	2,5	9,5	16,7	3,5	15
18	chlorures	10,7	79,6	279	11,3	250
19	Sulfates	0,7	24	39	4	250
20	MES	20	249	320	22	60
21	azote ammoniacal	0,45	4,87	3,54	0,35	15
22	nitrites	0,07	0,34	0,89	0,12	0,2
23	nitrates	0,57	3,68	16,69	2,49	20
24	Phosphates	0,1	1,02	1,45	0,15	10
25	Métaux lourds					
26	Plomb	0,86	0,97	1,02	1,12	0,2
27	chrome	1,04	2,67	2,89	0,85	2
28	cuivre	0	0,07	0,19	0,35	
29	fer	0,9	2,24	2,26	1,02	10
30	Manganèse	0,06	0,23	0,43	0,34	5
31	Zinc	0	0,36	0,24	0	0,5