

# Table des matières

|   |    |
|---|----|
| INTRODUCTION .....  | 1  |
| PARTIE I - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.....                             | 4  |
| I - GENERALITES SUR LA POLLUTION DES EAUX .....                   | 4  |
| I-1- Définition .....   | 4  |
| I-2- Types de pollution.....                                      | 4  |
| I-3- Impacts de la pollution de l'eau .....                       | 6  |
| II - EAU USEE.....  | 8  |
| II-1 -Définition.....   | 8  |
| II-2- Classification des eaux usées .....                         | 8  |
| II-3-Principaux milieux récepteurs .....                          | 11 |
| II-4- Réseaux d'égout.....  | 13 |
| II-5- Composition des eaux usées .....                            | 13 |
| III- PRINCIPE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES URBAINES .....         | 13 |
| III- 1- Traitement biologique .....                               | 13 |
| III-2- Lagunage .....   | 14 |
| PARTIER II - MATERIELS ET METHODES .....                          | 17 |
| I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....                         | 17 |
| I-1-Commune urbaine d'Antananarivo .....                          | 17 |
| I-2- Description du canal Andriantany.....                        | 20 |
| II -ECHANTILLONAGE.....   | 21 |
| II-1-Description de l'échantillon.....                            | 21 |
| II-2-Localisation des points de prélèvements .....                | 21 |
| III- PARAMETRES ANALYSES .....                                    | 23 |
| IV – ESSAIS DE TRAITEMENT PAR AERATION .....                      | 25 |
| V- METHODE D'EVALUATION DES PARAMETRES .....                      | 26 |
| V- 1- Les normes d'eaux usées .....                               | 26 |
| V- 2- Classification des eaux de surface .....                    | 27 |
| V- 3- Classification de la conductivité électrique des eaux ..... | 28 |
| V- 4- Salinité .....  | 29 |
| V- 5- Critères biologiques.....                                   | 29 |

|  |    |
|--|----|
| V- 6- Critères microbiologiques des eaux.....                            | 29 |
| PARTIE III - PRESENTATIONS DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS .....        | 30 |
| I-PARAMATRES ORGANOLEPTIQUES .....                                       | 30 |
| I-1-La Couleur.....  | 30 |
| I-2-L'Odeur.....   | 30 |
| II-PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES .....                                    | 30 |
| II-1-Aspects physico-chimiques des eaux usées du canal Andriantany ..... | 30 |
| II- 2- Les pollutions azotées et phosphorées .....                       | 35 |
| II- 3- La pollution en fer .....   | 40 |
| II- 4- La pollution en chlorure et en sodium .....                       | 41 |
| III- PARAMETRES BIOLOGIQUES .....  | 42 |
| IV- PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES .....                                    | 44 |
| V- RESULTATS DES ESSAIS DE TRAITEMENTS .....                             | 46 |
| CONCLUSION .....   | 48 |

## LISTE DES CARTES

|  |    |
|--|----|
| Carte 1: Représentation de la commune urbaine d'Antananarivo (CUA) .....                     | 18 |
| Carte 2: Présentation du canal Andriantany et présentation des points de prélèvements .....  | 23 |
| Carte 3: Présentation des résultats pH et CE des eaux usées du canal Andriantany .....       | 34 |
| Carte 4: Présentation des résultats des nitrates et des phosphates .....                     | 37 |
| Carte 5: Evolution de la teneur en DCO et DBO <sub>5</sub> le long du canal Andriantany..... | 44 |
| Carte 6: Occupation des sols le long du canal Andriantany .....                              | 45 |

## LISTE DES TABLEAUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1: Les différents types de maladies liés à l'eau polluée et les effets sur la santé..... | 6  |
| Tableau 2: Composition d'eau d'égout (Vaillant J.R., 1976).....                                  | 13 |
| Tableau 3: Les différents paramètres de lagunage d'aération et décantation .....                 | 16 |
| Tableau 4: Répartition de la population par arrondissement de la CUA.....                        | 19 |
| Tableau 5: Caractéristiques des points de prélèvement des eaux usées du canal Andriantany....    | 22 |
| Tableau 6: Méthodes d'analyse et appareillage .....  | 24 |
| Tableau 7: Méthode d'analyse bactériologique .....   | 25 |
| Tableau 8: Valeurs limites des rejets d'eaux usées.....  | 27 |
| Tableau 9: Grille pour estimer la qualité générale de l'eau (Coste C. <i>et al</i> , 1987).....  | 28 |
| Tableau 10: Relation entre conductivité et minéralisation (Rodier J., 1976).....                 | 28 |
| Tableau 11: Qualité requise pour les eaux de baignade (Méot B. et al, 1990).....                 | 29 |
| Tableau 12: Résultats d'analyse de la dureté totale .....  | 35 |
| Tableau 13: Grille pour signaler les problèmes d'azote (Bontoux J., 1993) .....                  | 36 |
| Tableau 14: Grille pour signaler les problèmes de phosphore (Bontoux J., 1993) .....             | 39 |
| Tableau 15: Teneur en DCO et en DBO <sub>5</sub> des eaux du canal Andriantany .....             | 42 |
| Tableau 16 : Résultats de traitement par aération .....  | 46 |
| Tableau 17 : Rendement épuratoire (%).....   | 47 |

## LISTE DES FIGURES

|  |    |
|--|----|
| Figure 1: Schéma simplifié d'un traitement par boues activées .....                                      | 14 |
| Figure 2: Aspect d'un développement d'une culture bactérienne en traitement biologique des<br>eaux ..... | 14 |
| Figure 3: Principe d'un lagunage naturel .....   | 15 |
| Figure 4: Schéma synoptique du montage de traitement.....  | 26 |

|   |    |
|---|----|
| Figure 5: Evolution de la turbidité (NTU) des eaux usées du canal Andriantany.....                  | 31 |
| Figure 6: Evolution des MeS (mg/l) des eaux usées du canal andriantany .....                        | 32 |
| Figure 7: Evolution de la conductivité électrique (µS/cm) des eaux usées du canal Andriantany ..... | 33 |
| Figure 8: Evolution du pH des eaux usées du canal Andriantany .....                                 | 34 |
| Figure 9: Teneur en calcium, magnésium des eaux usées du canal Andriantany .....                    | 35 |
| Figure 10:Teneur en nitrate, en nitrite et en ammonium des eaux usées du canal Andriantany .        | 37 |
| Figure 11:Teneur en phosphates (mg/l) des eaux usées du canal Andriantany.....                      | 39 |
| Figure 12: Evolution du fer total (mg/l) des eaux usées du canal Andriantany .....                  | 40 |
| Figure 13: Evolution de la teneur en chlorure (mg/l) des eaux usées du canal Andriantany .....      | 41 |
| Figure 14: Evolution du SAR le long du canal Andriantany .....                                      | 42 |

### **LISTE DES PHOTOS**

|  |    |
|--|----|
| Photo 1: Représentations des échantillons .....  | 21 |
| Photo 2: Aperçu de la couleur de l'eau du canal en point E7 (photo prise en mois d'octobre 2015) .....         | 38 |
| Photo 3: Prolifération de jacinthes d'eau dans le canal Andriantany (photo prise en mois d'octobre 2015) ..... | 38 |
| Photo 4: Point de rejet de l'industrie de savonnerie dans le canal Andriantany .....                           | 40 |
| Photo 5: Point de rejet d'une logistique pétrolière .....  | 43 |

## LISTE DES ABREVIATIONS

|                  |   |
|------------------|---|
| AERM             | Agence de l'Eau Rhin-Meuse                            |
| ASR              | Anaérobies Sulfito-Réducteurs                         |
| BDA              | Bureau de Développement d'Antananarivo Urbain         |
| CE               | Conductivité électrique                               |
| C <sub>M</sub>   | Concentration moyenne                                 |
| CT               | Coliformes Totaux                                     |
| CTT              | Coliformes Thermo-Tolérants                           |
| CUA              | Commune Urbaine d'Antananarivo                        |
| DBO <sub>5</sub> | Demande Biochimique en Oxygène                        |
| DCO              | Demande Chimique en Oxygène                           |
| EDTA             | Acide Ethylène Diamine Tétra acétique                 |
| FAO              | Food and Agricultural Organization                    |
| GR               | Génie Rural   |
| ISN              | Institut Sénégalais de Normalisation                  |
| MES              | Matières en suspension                                |
| MO               | Matières Organiques                                   |
| NTU              | Nephelometric Turbidity Unit                          |
| OMS              | Organisation Mondiale de la Santé                     |
| ONE              | Office National pour l'Environnement                  |
| pH               | Potentiel d'Hydrogène                                 |
| SAR              | Sodium Adsorption Ration                              |
| SF               | Streptocoques Fécaux                                  |
| SOMEAH           | Société Malgache d'Etude et d'Application Hydraulique |
| TH               | Titre Hydrotimétrique                                 |
| UV               | Ultra-Violet  |

## INTRODUCTION

La pollution des eaux provient des effets directs ou indirects des diverses activités humaines, industrielles et agricoles. L'eau usée pollue l'environnement lorsqu'elle est déversée dans les milieux naturels sans traitements préalables (Godmaire H. *et al*, 2009). L'eau usée constitue un majeur problème mondial et surtout dans les pays en développement. Ces derniers rejettent 90% des effluents liquides dans les cours d'eau ou dans les rivières. Cependant, cette pollution est négligée malgré la présence des différents textes qui régissent la qualité des rejets. Aujourd'hui, elle est devenue une préoccupation majeure en raison des impacts sur la santé publique et des impacts environnementaux.

Actuellement, les pratiques de protection de l'environnement et les principes de développement durable nécessitent de gérer la pollution. La gestion de cette pollution exige l'amélioration des canaux évacuation des eaux usées urbaines: eaux usées domestiques et industrielles, pour limiter leurs impacts. C'est ainsi que l'Etat Malagasy a décidé de préserver l'environnement. En 2003, le Ministère de l'environnement Malagasy a publié un texte portant décret sur la classification des eaux de surfaces et sur les normes des rejets des effluents aqueux dans le milieu naturel. Cet article concerne aussi la préservation des ressources en eau en établissant une norme des eaux usées. Ce texte présume la politique de gestion et de contrôle des pollutions industrielles : « tout écoulement d'origines industrielles, d'eaux usées ou d'effluents liquides qui ne respecte pas les valeurs limites de rejets ne peut être déversé dans le milieu récepteur, le réseau de collecte ou d'assainissement public, qu'après avoir subi un traitement de mise en conformité à ces valeurs limites » (Ministère de l'Environnement, 2003).

La ville d'Antananarivo est la partie la plus urbanisée dans la région d'Analamanga. La ville constitue le point de départ de l'activité, de la croissance économique et de la croissance démographique. Le développement économique et l'urbanisation est caractérisé par une grande consommation d'eau et une grande quantité d'eaux usées. La région Analamanga consomme environ 71.050 m<sup>3</sup> d'eau par jour (ONE, 2012). La consommation d'eau par individu varie de 20 à 160 litres/jour/habitant suivant les classes sociales.

Actuellement, l'état de l'environnement de la ville d'Antananarivo est très contraignant à cause de l'insuffisance des infrastructures adéquates liées à l'assainissement collectif et par la mauvaise gestion de la collecte des ordures ménagères. Dans tous les cas, les eaux usées industrielles sont déversées dans les réseaux publics sans respecter la réglementation en vigueur. Les eaux de pluie et les eaux usées domestiques des hauts quartiers de la ville sont acheminés vers

les bas-fonds, puis elles s'écoulent dans le canal Andriantany. En aval, ces eaux usées se terminent dans la rivière Ikopa par des diguettes à partir de la station de pompage d'Ambodimita.

Les problèmes d'assainissement des eaux usées urbaines à Antananarivo peuvent être causés par une double raison : la croissance rapide de la population et le développement industriel. Face à une démographie galopante, la ville d'Antananarivo devient surpeuplée. A cause de l'exiguïté et la cherté des terrains, les habitants ne sont pas en mesure de trouver des espaces suffisantes pour construire leur maison. Alors, ils sont obligés de remblayer les rizières pour construire. Par conséquent, les canaux d'évacuation d'eaux usées sont devenus étroits ou disparaissent par manque ou non-respect de la politique d'urbanisation. En plus de cela, les classes sociales très pauvres de la ville n'ont pas de maison et vivent au bord des canaux d'évacuation d'eaux usées. En outre, l'absence de loi sur l'aménagement du territoire entraîne la construction spontanée d'habitations qui ne répond à aucune norme sanitaire ni environnementale, d'où l'inondation et les maladies souvent meurtrières. Ainsi, les habitants qui résident sur la périphérie de ce canal ou de ce réseau ont une mauvaise habitude de rejeter toutes sortes d'effluents domestiques ou ordures ménagères dans les canaux. En plus de cela, le réseau d'assainissement ne reçoit pas l'entretien nécessaire tel que le curage des canaux d'évacuation, le projet d'épuration des eaux usées. Par conséquent, les canaux collecteurs des eaux usées sont souvent bouchés par les ordures urbaines. Il en résulte des obstacles de capacité de canalisation. En période de crue, les eaux usées et les eaux de pluie remontent sur les chaussées et envahit les parties basses de la ville. Cette situation engendre de nombreux problèmes environnementaux et sanitaires publics.

Le développement industriel se conjugue aussi avec les problèmes d'assainissement urbain de la ville d'Antananarivo à cause d'une forte concentration des usines de divers types dans des zones d'implantation industrielle. Parallèlement avec la croissance de production, les besoins en quantité d'eau des industries augmente pour assurer leur fonctionnement. Ces industries rejettent plusieurs types d'eaux usées dont les volumes et le degré de contamination sont très variables selon leurs activités. En effet, le volume des eaux usées industrielles croît sans cesse et entraîne le sous-dimensionnement des ouvrages d'assainissement existants.

L'objectif général de ce travail consiste donc à évaluer et analyser l'état de pollution et la situation des réseaux d'assainissement dans ville d'Antananarivo, notamment le canal Andriantany. Pour réaliser cette étude, on a effectué des analyses physico-chimiques et bactériologiques sur différents points sensibles le long de ce canal et établi des cartographies montrant leur degré de pollution vis-à-vis des fréquentations et des diverses activités aux alentours de ce canal. A partir de ce contexte, nous avons effectué des essais d'épuration d'eau en procédant à la technique d'aération qui est largement utilisée dans divers pays d'Afrique (Karima A., 2009).

Comme en France, cette technique est largement utilisée par les industries agro-alimentaires afin de réduire au moins de 35% les polluants dans les effluents (Dardenne G., 1975).

Le contenu de ce travail est subdivisé en trois grandes parties :

- la première partie concerne les études bibliographiques : généralités sur la pollution d'eau, les eaux usées et le principe de traitement des eaux usées urbaines.
- la deuxième partie présente la méthodologie : présentation de la zone d'étude, description du canal Andriantany et approche méthodologique.
- la troisième partie présente les résultats et interprétations

## **PARTIE I - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

### **I - GENERALITES SUR LA POLLUTION DES EAUX**

#### **I-1- Définition**

La pollution de l'eau désigne la présence des substances chimiques, des matières solubles ou non solubles, des organismes, des déchets industriels, des ordures ménagères directes ou indirectes dans l'eau, qui modifient les qualités organoleptiques, les compositions chimiques et les propriétés physiques de l'eau (ISN, 2001; Sibeud E., 2015). La pollution de l'eau entraîne des caractères gênants ou nuisibles pour les usages humains et l'espèce aquatique (Guérrin R., 1999 ; Keddal H. *et al*, 2008). Au cours de son utilisation, l'eau s'appauvrit ou s'enrichit de substances de toutes sortes qui peuvent entraîner diverses maladies. La vie des hommes, des animaux et des plantes est très risquée. Les eaux ou masses d'eaux concernées par la pollution sont des rivières, des fleuves, des lacs ainsi que des nappes souterraines. Elle concerne aussi des estuaires, des zones humides et en particulier leurs sédiments qui peuvent absorber ou libérer une part importante des polluants.

#### **I-2- Types de pollution**

##### **-pollution chimique**

La pollution chimique est généralement une pollution engendrée par des substances chimiques. Les rejets d'eaux usées industrielles et urbaines dans les fleuves et cours d'eau constituent les principales sources de pollution chimique. Les principaux polluants chimiques des eaux usées urbaines sont: les matières organiques, les matières en suspension et les éléments nutritifs (azote et phosphore). Toutefois, des métaux lourds (arsenic, cadmium, chrome, cuivre, nickel, plomb, mercure,...) et des hydrocarbures peuvent y être présents. Elle provient aussi des rejets industriels : industries chimiques, industries métallurgiques, industries agro-alimentaires et d'autres types d'industrie.

Ces polluants peuvent être dangereux selon la nature et leur concentration dans le milieu. La pollution chimique peut être accidentelle ou diffuse.

##### **-pollution organique**

La pollution organique est généralement provoquée par les polluants carbonés comme les matières organiques (boues d'épuration, lisiers, viandes périmés,...) et les produits de synthèse organiques. Les effets de ces polluants organiques sont très variables suivant leur nature, certains étant très biodégradables, d'autres persistants. Parmi ces derniers, les polluants organiques persistants, tels que les polychlorobiphényles, les organochlorés sont particulièrement toxiques. De plus, ces polluants peuvent augmenter la turbidité de l'eau et créer un phénomène d'eutrophisation avec une diminution de la quantité d'oxygène dissous. Ces modifications environnementales ont de

sérieuses conséquences sur la population d'un milieu. Ces polluants surviennent dans la nature après utilisation domestique et industrielle de divers produits, tels que les détergents, les solvants, les produits phytosanitaires ainsi que les hydrocarbures (Gerin M. *et al*, 2003).

### **-pollution thermique**

La pollution thermique correspond à une hausse ou une diminution de la température d'un milieu par rapport à la température normale. Les principales causes de pollution thermique sont les rejets d'eaux de refroidissement des centrales électriques, les eaux de lavage et de rinçage ou purement les eaux usées. La pollution thermique peut être provoquée naturellement par des sources d'eaux chaudes, comme le geyser (Gerin M. *et al*, 2003). Cette pollution élève la température naturelle du milieu récepteur (lac, rivière) et entraîne l'appauvrissement en oxygène. Elle perturbe la vie aquatique en modifiant la reproduction ou la survie des espèces résidents.

### **-pollution microbienne**

La contamination microbiologique est une forme de pollution de l'eau engendrée par la présence de microorganismes pathogènes tels que des virus, des parasites ou des bactéries. Ceux-ci peuvent présenter un risque pour la santé humaine ou animale. Les coliformes fécaux, la bactérie *Escherichia coli* (*E. coli*) et les entérocoques sont les indicateurs privilégiés pour détecter la contamination microbiologique dans l'eau. Leur présence n'implique pas nécessairement un risque pour la santé, mais elle constitue un bon indicateur de l'intensité de la pollution d'origine fécale et de la présence de microorganismes pathogènes dans les eaux de surface. Les sources de contamination microbienne des eaux sont multiples. Il s'agit en premier lieu des rejets d'eaux usées domestiques. Ces eaux polluées issues des activités humaines, souvent non traitées, contiennent de nombreux virus et bactéries. Dans les fermes, les animaux d'élevage quant à eux hébergent une quantité importante charges microbiennes qu'ils évacuent avec leurs excréments. Les rejets des stations d'épuration, suivant l'efficacité du traitement effectué, peuvent eux-aussi contenir des micro-organismes (Vaillant J.R., 1976). Les décharges sont un site privilégié de développement de microbes. Ces microbes sont ensuite emportés par les eaux de pluie et se répartissent dans les eaux naturelles.

### **-pollution mécanique**

La pollution mécanique est caractérisée par une accumulation importante de matières en suspension. Ce type de pollution entraîne entre autres une augmentation de la turbidité de l'eau, une chute du taux de l'oxygène dissous voire la réduction de la photosynthèse des plantes aquatiques (Le Limpec P., 2002, Boucheseiche C. *et al*, 2002)

La pollution mécanique est aussi constituée par des déchets solides de différentes formes (sac en plastique, ordures ménagères, cartons et emballages, fibre, sable,...) qui sont capables de boucher les canalisations et les réseaux d'égout (Vaillant J.R., 1976 ; Coste C. *et al* 1987).

### I-3- Impacts de la pollution de l'eau

#### I-3-1-Impact sanitaire

La pollution de l'eau peut avoir des conséquences sur la santé de l'homme. L'eau polluée peut transmettre un certain nombre de maladies : maladies hydriques, maladies aquatiques et maladies dues aux vecteurs de l'eau.

Tableau 1: Les différents types de maladies liés à l'eau polluée et les effets sur la santé

| Type                                | Maladie                     | Agents responsables                        | Mode de contamination   | Effets sur la santé  |
|-------------------------------------|-----------------------------|--|---|--|
| Maladies hydriques                  | Choléra                     | Bactéries : <i>Vibrio cholerae</i>         | Consommation d'eau  | -Diarrhées, vomissements graves, déshydratation.<br>-Période d'incubation de 1 à 3 jours.  |
|                                     | Fievres typhoïdes           | Bactéries : typhi                          | Consommation d'eau ou d'aliments souillés                         | -Diarrhées graves, vomissement, douleurs abdominales.<br>-Périodes d'incubation de 1 à 3 semaines.                                 |
|                                     | Dysenterie bactérienne      | Bactéries parasites                        | Consommation d'eau contaminée                                     | -Diarrhées importantes<br>-Période d'incubation de 1 à 3 jours, jusqu'à 7 jours  |
|                                     | Hépatite A, Hépatite E      | virus                                      | Consommation d'eau, aliments contaminés d'une personne            | -Infection et inflammation du foie<br>-Période d'incubation de 15 à 45 jours   |
| Maladies aquatiques                 | Schistosomiase, Bilharziose | Vers parasitaire, famille des schistosomes | Contamination par les eaux de baignade (pénétration dans la peau) | -Douleurs abdominales, éruption cutanée,<br>-Période d'incubation de 2 à 6 semaines (schistosomiase) et 5 à 15 jours (bilharziose) |
| Maladies dues aux vecteurs de l'eau | Paludisme                   | virus                                      | Piqure de moustique   | -Fièvre, anémie.<br>-Période d'incubation de 7 à 14 jours  |
|                                     | Maladie du sommeil          | virus                                      | Piqure de mouche tsé-tsé  | -Troubles nerveux, affaiblissement général<br>-Période d'incubation de 5 à 14 jours.   |
|                                     | Fièvre jaune                | virus                                      | Piqure de moustique ou mouche tsé-tsé                             | -Malaises, faiblesses, nausées, vomissement, rémission<br>-Période d'incubation de 3 à 6 jours.                                    |

### **I-3-2-Impacts sur l'agriculture**

La pollution de l'eau peut influencer les activités agricoles. L'utilisation des eaux usées en agriculture peut avoir des impacts positifs ou négatifs. Les eaux usées, surtout les eaux usées domestiques, contiennent souvent des substances nutritives (composés azotés et phosphorés) qui sont indispensables pour les plantes. Elles constituent parfois la seule source d'eau pendant la saison de culture et sont utilisées pour l'irrigation. La présence de ces éléments nutritifs peut remplacer l'utilisation des engrais et rendre le sol fertile. Celle-ci diminue donc l'achat d'engrais pour les agriculteurs. On peut avoir aussi une amélioration des rendements à la récolte (OMS, 2012). D'après la FAO (2003), l'irrigation avec des eaux usées domestiques donne des rendements plus élevés que l'irrigation avec de l'eau douce, même si l'on utilise des engrais artificiels. En termes de qualité, l'utilisation des eaux usées brutes entrave la qualité sanitaire des produits par la présence des germes pathogènes infestants.

En revanche, l'utilisation des eaux usées industrielles en irrigation peut entraîner des risques graves pour l'agriculture : contamination des produits et dégradation de la fertilité des sols. Ces eaux contiennent des impuretés diverses comme des substances chimiques très toxiques et mortelles (métaux lourds, solvants organiques, hydrocarbures, éléments radioactifs).

Ainsi, l'irrigation par les eaux usées industrielles apporte des risques sur la santé des agriculteurs et des consommateurs (OMS, 2012).

### **I-3-3-Impacts au niveau des ressources environnementales**

Le déversement incontrôlé des eaux usées dans le milieu naturel peut entraîner une dégradation conséquente de l'écosystème. Ce changement de l'écosystème entraîne non seulement des impacts négatifs aux ressources vivantes du milieu mais aussi sur l'équilibre global du système environnemental. En général, le mauvais assainissement est une source majeure de la pollution des eaux naturelles (rivière, fleuve, lac, eau souterraine). Cette pollution résulte souvent d'un apport trop riche en substances nutritives ou toxiques.

Grace à ces substances nutritives, on observe parfois une forte prolifération d'algues dans le milieu. Ce phénomène s'intensifie surtout dans les eaux stagnantes, notamment dans les lacs profonds. Cet état se traduit par l'accumulation des algues et des bactéries aérobies, qui absorbent l'oxygène présent dans l'eau et provoquent la mort de l'écosystème aquatique qui conduit à ce qu'on appelle « une zone morte » (Keddal H. *et al*, 2008).

La présence des substances toxiques dans les effluents provoque des effets immédiats ou à long terme sur l'écosystème. Lorsque la substance est introduite brutalement à une concentration élevée dans le milieu, on observe un déséquilibre brusque de l'écosystème, avec mortalité massive d'un

grand nombre d'organismes appartenant à des niveaux trophiques différents. Par contre, lorsque cette substance est introduite à faible dose mais prolongée dans le milieu, on observe alors une modification progressive de l'écosystème, qui pourra au final entraîner des changements aussi graves que la précédente (Guérrin R., 1999).

## **II - EAU USEE**

### **II-1 -Définition**

Toutes les activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles, agricoles ou artisanales produisent des eaux usées. Ces eaux usées, appelées aussi eaux polluées, sont toutes les eaux qui sont de nature à contaminer les milieux dans lesquelles elles sont déversées (Godmaire H., 2009). Elles sont caractérisées souvent par différentes types de polluants, solubles ou insolubles. Ces eaux usées sont aussi susceptibles de renfermer des microorganismes pathogènes, des bactéries ou des virus dont les concentrations peuvent être de l'ordre de plusieurs milliers et millions par litre (Gerin M. *et al*, 2003).

### **II-2- Classification des eaux usées**

#### **II-2-1- Les eaux usées domestiques**

Les eaux usées domestiques proviennent des usages courants de l'eau : ménage, sanitaire et nettoyage. Ces eaux sont essentiellement porteuses de polluant organique. Elles sont généralement chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques. Il y a également les eaux-vannes qui sont des rejets de toilettes, chargés de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (Bontoux J., 1993 ; Leroy J.B., 1986).

La pollution journalière produite par une personne utilisant 150 à 200 litres d'eau est évaluée à :

- 90 grammes de matières organiques ou minérales (en suspension dans l'eau sous forme de particules)
- 57 grammes de matières oxydables
- 15 grammes de matières azotées
- 4 grammes de phosphore (issus des détergents)
- 0,23 gramme de résidus de métaux lourds (plomb, cadmium, arsenic, mercure...)
- 0,05 gramme de composés (fluor, chlore, brome, iode...)
- 1 à 10 milliards de germes par 100 ml.

En milieu urbain, les eaux usées provenant des installations à caractère collectif sont incluses dans cette catégorie, en citant les bâtiments scolaires, les hôpitaux, les marchés (Leroy J.B, 1986).

## **II-2-2 -Eaux usées industrielles**

Les eaux usées industrielles sont très différentes des eaux usées domestiques. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à une autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles peuvent contenir des produits toxiques, des solvants, des métaux lourds, des micropolluants organiques, des hydrocarbures.

La plupart des industries utilisent une grande quantité d'eau. Les caractéristiques des eaux usées industrielles sont (Bontoux J., 1993):

- eaux à charge minérale dominante : qui se trouve dans le rejet d'installation minière ou des usines de traitements minéraux. Ces eaux sont constituées de très fortes quantités de matières en suspension et la valeur de pH s'éloigne de la neutralité.
- eaux à charge organique dominante : ces eaux sont composées d'une teneur importante en matières organiques dégradables comme les rejets d'abattoir et les rejets d'industrie alimentaire.
- eaux à caractère mixte : ces eaux proviennent souvent de l'industrie textile, de l'industrie de cellulose (papier, carton). Elles peuvent contenir aussi des graisses, des produits savonneux et des sels.

## **II-2-3 -Eaux usées agricoles**

Les eaux usées agricoles sont des eaux qui sont polluées par des substances utilisées dans le secteur agricole. Les sources de la pollution agricole sont de deux types:

- les engrais et les produits phytosanitaires comme les pesticides.
- les effluents d'élevages riches en composés azotés.

### **II-2-3-1-Engrais**

L'agriculture représente la principale source de la pollution de l'eau, devant l'industrie ou les effluents urbains. Par utilisation excessive, les engrais et les pesticides, peuvent contaminer les eaux de surface et les nappes d'eaux souterraines.

Les engrais sont responsables d'une pollution massive des sols, mais sont surtout la cause majeure de pollution des eaux souterraines, principaux réservoirs d'eau potable. La pollution issue de l'utilisation de l'engrais est souvent liée aux apports excessifs d'azote dans les sols (différence entre apport d'azote et export par les cultures). La forme d'une pollution azotée est caractérisée par la présence d'une teneur élevée en nitrates. Les nitrates étant très solubles dans l'eau, lorsqu'ils ne sont pas consommés par les plantes, s'infiltrent aisément dans le sol et atteignent progressivement les eaux souterraines. Ils sont ensuite dégradés par une bactérie et se transforment

en nitrites. Associés aux phosphates, les nitrates contribuent en outre au phénomène d'eutrophisation.

### **II-2-3-2-Pesticide**

Le pesticide est une source de pollution agricole. Les effets des pesticides sur l'environnement comprennent essentiellement des effets sur les espèces non ciblées. En général, ils sont pulvérisés ou épandus globalement sur les parcelles cultivées. Plus de 98 % des insecticides pulvérisés sur les cultures et 95 % des herbicides atteignent une destination autre que leurs cibles. En outre, ils peuvent être transportés par les eaux de ruissellement vers les zones non ciblées ou affectent potentiellement d'autres espèces, voire menacent la santé des hommes. Comme aux Etats-unis, les pesticides polluent tous les cours d'eau et plus de 90% des puits échantillonnés. Des résidus de pesticides ont également été trouvés dans la pluie et dans les eaux souterraines (Miller G.T., 2004). Les effets des pesticides sur les systèmes aquatiques sont souvent suspectés autour des champs de culture. D'après Papendick R.I. *et al* (1986), il existe quatre voies principales par lesquelles les pesticides atteignent l'eau :

- cela peut être une dérive hors de la zone prévue pour la pulvérisation,
- la percolation ou la lixiviation à travers le sol,
- l'entraînement par les eaux de ruissellement ou
- un déversement accidentel ou consécutif à des négligences.

Ils peuvent aussi être entraînés dans l'eau par l'érosion des sols. Les facteurs qui influencent la capacité d'un pesticide à contaminer l'eau comprennent sa solubilité dans l'eau, la distance séparant le site d'application des étendues d'eau, les conditions météorologiques, le type de sol, la présence d'une culture en cours de croissance et la méthode d'application utilisée.

Les effets indésirables des pesticides ont conduit à l'interdiction de nombreux pesticides, tandis que des règlements ont limité ou réduit l'utilisation des pesticides autorisés. Au fil du temps, les pesticides sont généralement devenus moins persistants et plus spécifiques aux espèces, réduisant leur empreinte environnementale.

En outre, les volumes de pesticides appliqués par hectare ont diminué, dans certains cas jusqu'à 99 %. Cependant, la diffusion mondiale de l'utilisation des pesticides, y compris celle de pesticides plus anciens ou obsolètes qui ont été interdits dans certains pays, a augmenté.

### **II-2-3-3- Effluent d'élevage**

Les effluents d'élevage sont considérés comme une pollution agricole. Ils sont issus des activités d'élevage dont les principaux effluents proviennent des élevages de bovins et de porcins. Les fumiers et les lisiers représentent la majeure partie des effluents d'élevage. Dans certains pays, ces effluents sont acheminés vers les parcelles agricoles par épandage car ils constituent de bon

engrais organiques. La pollution liée aux effluents d'élevage est la source majeure de pollution azotée et phosphatée après la pratique agricole. Une importante partie de ces polluants est transportée vers les eaux de surface par lixiviation ou gagne les nappes souterraines par infiltration. A cet effet, l'utilisation des effluents d'élevage en agriculture est parmi les plus préoccupants sur le plan écologique.

#### **II-2-4 -Eaux de ruissellement.**

L'eau de ruissellement, appelée aussi eau pluviale, joue un rôle important dans le transfert de pollution dans les différents compartiments de l'environnement.

En général, on peut classer l'origine de la pollution de ruissellements par le lessivage de l'atmosphère et le lessivage de surfaces urbaines (Khemicy Y., 2013 ; Sibeud E., 2015).

##### **➤ Lessivage de l'atmosphère**

Le lessivage atmosphérique détermine la pollution de l'eau de pluie au moment où elle touche le sol, également désigné sous le terme « retombées atmosphériques ». Cette pollution se caractérise par les dépôts humides et secs. Les retombées atmosphériques humides correspondent au lessivage de l'atmosphère par la précipitation tandis que les retombées atmosphériques sèches sont des dépôts qui se produisent en absence de précipitation. Les dépôts secs sont caractérisés par des retombées atmosphériques particulières comprenant des particules fines, des hydrocarbures, des micropolluants organiques et inorganiques (Fifi U., 2010).

##### **➤ Lessivage des surfaces urbaines**

La pollution de premier écoulement du ruissellement urbaine est liée à deux sources : la pollution diffuse résultant des surfaces urbaines (comme parkings, routes) et des sources ponctuelles. Les eaux provenant des surfaces urbaines peuvent être contaminées par des particules solides (matières en suspension), des ions ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), des hydrocarbures aromatiques polycycliques et des métaux lourds, des colonies bactériennes ou virales (Fifi U., 2010). Les feuilles mortes sont une source importante de matières carbonées. On peut avoir aussi divers types de déchets solides (matières plastiques, cartons).

#### **II-3-Principaux milieux récepteurs**

Les milieux récepteurs sont des milieux pour déverser les eaux usées : lacs, fleuves et rivières et nappe d'eau souterraine.

## ➤ **Les lacs**

Les lacs sont des endroits où se développent des vies en milieu aquatique. Ils constituent des domaines plus fragiles et facilement altérés par les milieux environnants.

Dans un lac, on peut distinguer trois zones :

- la zone littorale : c'est la zone peu profonde, où la lumière pénètre facilement. Elle permet le développement de végétaux fixés sur le fond.
- la zone dépourvue de végétaux enracinés, mais suffisamment lumineuse pour le phytoplancton.
- la zone trop sombre qui se trouve en profondeur pour permettre une photosynthèse efficace. Elle est plus froide et pauvre en oxygène.

Quand des eaux usées non épurées ont été déversées dans le lac, celles-ci produisent une altération et un déséquilibre du système aquatique qui conduisent à des effets immédiats sur l'utilisation de l'eau et aussi à des effets à long terme, parfois irréversibles (Vaillant J.R., 1976). Le déversement des eaux usées composées d'azotes et de phosphates peut accélérer l'eutrophisation du milieu. Le processus d'eutrophisation emporte des odeurs désagréables avec une prolifération d'algues vertes.

## ➤ **Les fleuves et rivières**

Les fleuves et les rivières sont aussi les principaux milieux de déversement d'eaux usées. D'amont en aval, ils connaissent une modification de ses caractéristiques. Les polluants sont toujours transportés très loin par l'écoulement d'eau. Les effluents sont parfois rejetés directement dans le fleuve par l'intermédiaire d'un ouvrage d'évacuation.

## ➤ **La nappe d'eau souterraine**

L'infiltration d'eau de mer associée à la surexploitation des couches aquifères ou à la lixiviation naturelle est l'une des sources de pollution des eaux souterraines. La plupart des contaminations des eaux souterraines est due à l'activité humaine. La contamination humaine des eaux souterraines peut être liée à l'évacuation des déchets d'une manière directe (systèmes privés d'évacuation d'eaux d'égout, eau usée municipale, retenue d'eau usagée, formation de saumure due à certaines industries de pétrole, rejet des déchets radioactifs) ou de manière indirecte (certaines activités agricoles, pluies acides).

## II-4- Réseaux d'égout

Les réseaux d'égout sont définis par « tout système qui permet de collecter les eaux usées, les eaux pluviales d'un bâtiment et les acheminer en direction d'une canalisation ou d'un dispositif d'assainissement collectif ». Finalement, les eaux usées se terminent dans les milieux naturels : lac, rivière ou marais.

## II-5- Composition des eaux usées

La composition des eaux usées dans les réseaux collectifs est généralement caractérisée par la présence des matières minérales et organiques, des matières en suspensions ainsi que des matières dissoutes. Voici un exemple d'eau d'égout d'un rejet évalué à 150l/hab /j. La répartition est présentée dans le *Tableau 2*.

Tableau 2: Composition d'eau d'égout (Vaillant J.R., 1976)

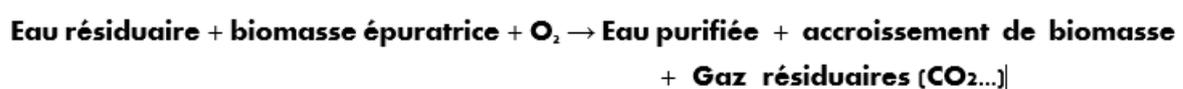
|                            | Matières en suspensions | Matières dissoutes |
|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| Matières organiques (mg/l) | 400                     | 330                |
| Matières minérales (mg/l)  | 200                     | 330                |
| Total (mg/l)               | 600                     | 660                |

## III- PRINCIPE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES URBAINES

### III- 1- Traitement biologique

L'épuration biologique a pour but d'éliminer les matières polluantes biodégradables contenues dans l'eau domestique en les transformant en matières décantables. La dégradation peut se réaliser par voie aérobie (en présence d'oxygène) ou anaérobie (en l'absence d'oxygène). Dans ce dernier cas où les réactions s'effectuent à l'abri de l'air, le carbone organique, après dégradation, se retrouve sous forme de CO<sub>2</sub>, méthane et biomasse. Ce type de traitement, appelé « digestion anaérobie », n'est utilisé que pour des effluents très concentrés en pollution carbonée, de type industriel (brasserie, sucrerie).

Le traitement biologique classique des eaux domestiques s'effectue par voie aérobie. Le traitement consiste à dégrader les impuretés grâce à l'action d'une biomasse épuratrice, à laquelle doit être fourni l'oxygène nécessaire à son développement. En simplifiant, on peut décrire ce processus par l'équation :



Ce type de traitement est parfois appelé un traitement par boues activées. L'unité de traitement comprend souvent :

- un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la masse bactérienne épuratrice,
- un dispositif de fourniture d'oxygène,
- un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et de la culture bactérienne,
- un dispositif de recirculation assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologiques récupérées dans le clarificateur,
- un dispositif d'extraction et d'évacuation des boues en excès.

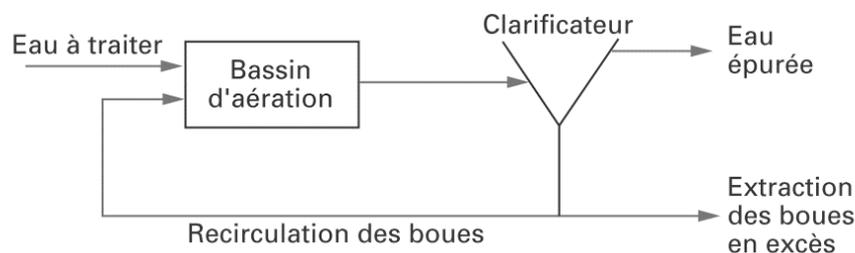


Figure 1: Schéma simplifié d'un traitement par boues activées

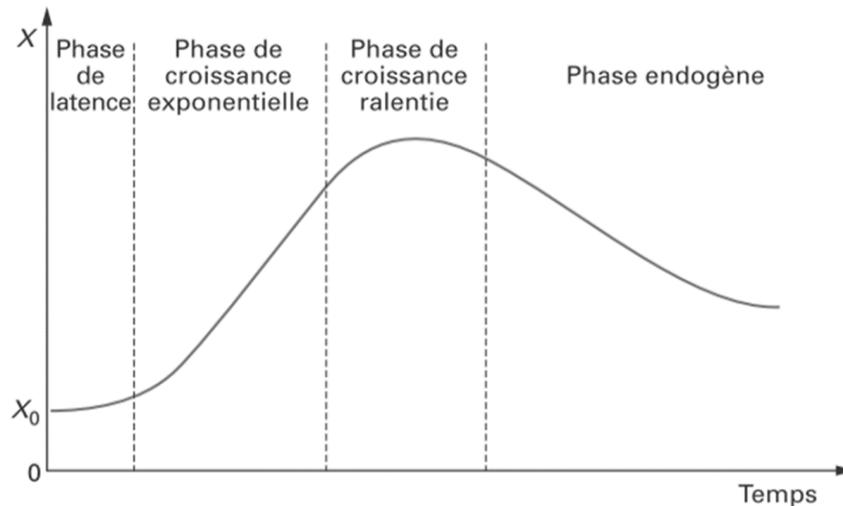


Figure 2: Aspect d'un développement d'une culture bactérienne en traitement biologique des eaux

### III-2- Lagunage

Le lagunage consiste à épurer les eaux usées dans le bassin à l'aide de l'air, des microorganismes, des algues ou des plantes aquatiques. Il existe plusieurs types de procédés par lagunage : lagunage naturel, lagunage aéré.

### III-2-1- Lagunage naturel

Un lagunage fonctionne en partie comme une zone humide naturelle, en valorisant les services écosystémiques fournis par les espèces qui dans la nature recyclent naturellement les nutriments et contribuent à réduire et épurer les matières organiques et minérales en suspension. Le système de lagunage naturel est constitué par une succession des bassins dont chacun a un rôle spécifique.

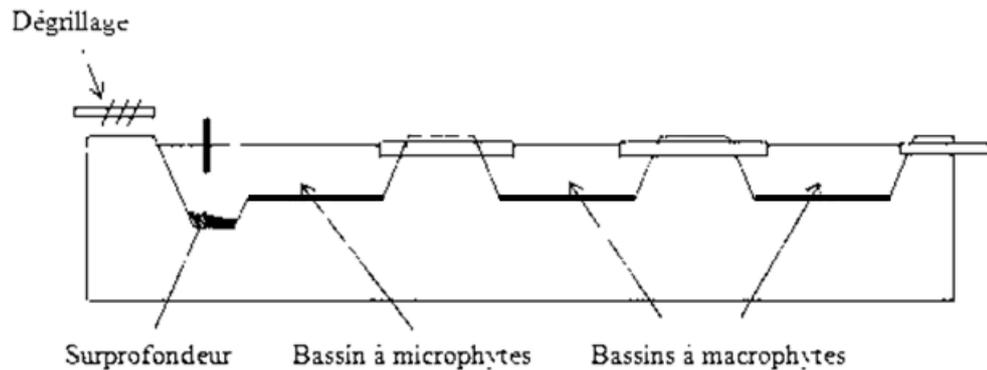


Figure 3: Principe d'un lagunage naturel

Le premier bassin est un bassin à micro-organismes, où est biodégradée la matière organique contenue dans les eaux usées. Les UV solaires peuvent aussi contribuer à dégrader certaines molécules synthétiques ou naturelles toxiques.

L'eau transite ensuite dans le bassin moins profond, qui sert à traiter l'azote (généralement transformé en nitrates lors de la dégradation de la matière organique par les micro-organismes) et du phosphore. La photosynthèse favorise le développement de microphytes (planctons, algues) qui consomment de l'azote et du phosphore.

On passe ensuite dans la troisième zone, dit bassin à macrophytes (iris, roseaux, joncs...). Ces derniers assurent une oxygénation complémentaire des sédiments, et absorbent une partie des éléments minéraux issus de la dégradation de la matière organique pour leur croissance.

### III-2-2- Lagunage aérée

Le lagunage aéré est un système de traitement des eaux usées par culture libre avec un apport artificiel d'oxygène (AERM, 2007). D'après Vaillant J.R. (1976), le lagunage aéré est un système d'aération artificiel qui fournit aux eaux usées de l'oxygène additionnel et permet de maintenir dans l'étang un milieu aérobie.

Le lagunage aéré se différencie du système de boues activées par l'absence de maintien d'une concentration fixe de micro-organismes (AERM, 2007). Le temps de séjour de lagunage aéré est plus long. Il est différent du lagunage naturel dont l'oxygène est fourni par la photosynthèse et le

transfert à l'interface eau-atmosphère. Le lagunage aéré est un procédé intermédiaire entre le lagunage naturel et les procédés biologiques traditionnels.

Tableau 3: Les différents paramètres de lagunage d'aération et décantation

| Paramètres            | Unités                                  | Valeurs   |
|-----------------------|---|---|
| Lagune d'aération     |   |   |
| Dimensionnement       | m <sup>2</sup> /usager                  | 1,5 à 3   |
| Temps de séjour       | jours                                   | 20  |
| Besoin en oxygène     | kg O <sub>2</sub> / kg DBO <sub>5</sub> | 2   |
| Puissance aérateur    | W /m <sup>3</sup>                       | 5 à 6   |
| Profondeur            | m                                       | 2 à 3,5 avec aérateur de surface<br>2,5 pour une turbine de 4 kW<br>3 pour une turbine de 5,5 kW<br>> 4 pour une insufflation d'air |
| Lagune de décantation |   |   |
| Temps de séjour       | jours                                   | 3 à 5   |
| Nombre de bassins     | -                                       | 2   |
| Volume nécessaire     | m <sup>3</sup> /usager                  | 0,8 à 1,2   |
| Profondeur            | m                                       | 2   |

Source : AERM, 2007

## **PARTIER II - MATERIELS ET METHODES**

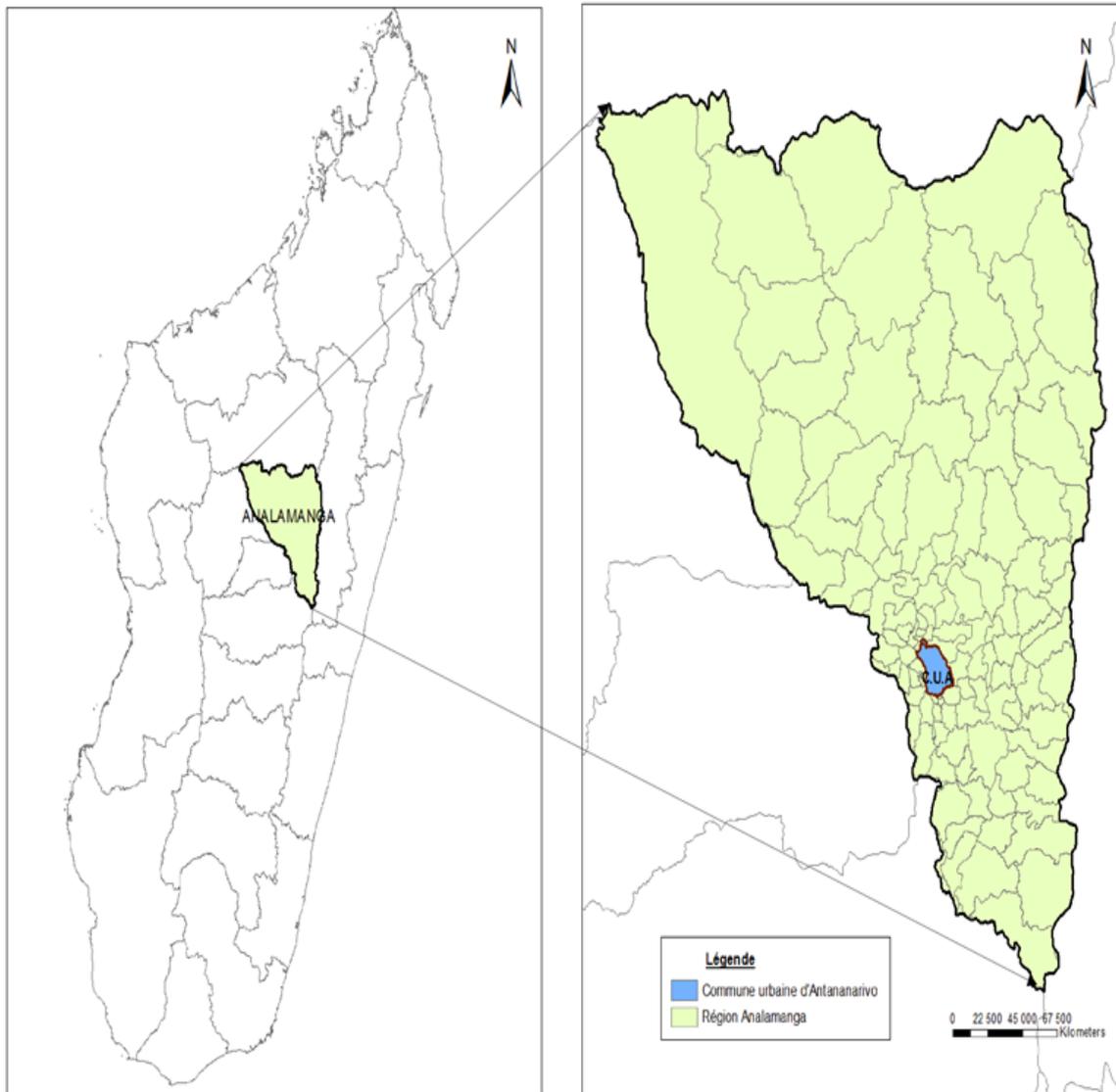
### **I - PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

#### **I-1-Commune urbaine d'Antananarivo**

Analamanga est l'une des 22 régions de Madagascar. Elle est délimitée par 5 régions : à l'Est par la région Alaotra mangoro, à l'ouest la région Itasy et Bongolava, au nord par la région Betsiboka et au sud par la région de Vakinankaratra. La commune urbaine d'Antananarivo (CUA) appartient à la région d'Analamanga. Elle compte 134 communes et 8 districts : Antananarivo Renivohitra, Antananarivo Atsimondrano, Antananarivo Avaradrano, Andramasina, Anjozorobe, Manjakandriana, Ambohidratrimo et Ankazobe (ONE, 2012). Elle est située au cœur des hauts plateaux de Madagascar, à une altitude oscillant entre 1245m et plus de 1500m.

La commune urbaine d'Antananarivo est subdivisée en deux grandes zones : la ville haute sur les collines et la ville basse constituée des agglomérations situées dans la plaine. Sa superficie est de 86,45 km<sup>2</sup>. Elle est composée de six arrondissements :

- le premier arrondissement se situe à Analakely,
- le deuxième arrondissement se situe à Ambanidia,
- le troisième arrondissement se situe à Antaninandro,
- le quatrième arrondissement se situe à Andrefan'ambohijanahary,
- le cinquième arrondissement se situe à Ambatomainty,
- le sixième arrondissement se situe à Ambohimanarina.



Carte 1: Représentation de la commune urbaine d'Antananarivo (CUA)

### **I-1-1-Population**

En 1962, le nombre de la population de la commune urbaine d'Antananarivo est autour de 300.000 habitants. D'après l'exploitation de fiche de recensement familial, le nombre de la population s'élève à 708 549 habitants en 1993. La population est caractérisée par une « population jeune » dont 47% ont moins de 20 ans. La population active appartient à la tranche d'âge comprise entre 20 et 50 ans qui représente environ 44% de la population totale (Rakotomamy E. *et al*, 1997).

D'après le recensement 2012, la population de la commune urbaine d'Antananarivo compte 1.363.897 habitants avec une densité de 15 777 habitants / km<sup>2</sup>. La répartition figure dans le tableau suivant (BDA, 2012).

Tableau 4: Répartition de la population par arrondissement de la CUA

| Arrondissements | Superficie(en Km <sup>2</sup> ) | Nombre total d'habitants | Densité (hab /km <sup>2</sup> ) |
|-----------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| I               | 8,89                            | 282694                   | 31806                           |
| II              | 14,09                           | 179132                   | 12714                           |
| III             | 6,69                            | 143467                   | 21435                           |
| IV              | 13                              | 261075                   | 20075                           |
| V               | 23,94                           | 342091                   | 14288                           |
| VI              | 19,83                           | 155438                   | 7838                            |
| Total           | 86,45                           | 1363897                  | 15777                           |

La majorité de la population se concentre dans la ville parce que plus de 60% des secteurs industriels s'y trouvent. Cela est aussi dû à l'exode rural qui augmente l'intensité des demandes de travail.

### **I-1-2-Climatologie**

La ville d'Antananarivo est caractérisée par un climat tempéré à cause de son altitude élevée : de 1245 m (en plaine) à 1475 m (sur les collines). Les températures annuelles présentent une faible amplitude entre le mois le plus froid et le mois le plus chaud (SOMEAH, 1993) :

- température moyenne du mois le plus froid : 13°C
- température moyenne du mois le plus chaud : 22°C.

### **I-1-3 -Pluviométrie**

Dans la CUA, la pluviométrie moyenne atteint 1360mm par an. Cette quantité correspond surtout à la saison des pluies de novembre en mars et environ 60% de la totalité pendant les trois mois : décembre, janvier et février (SOMEAH, 1993). Les événements pluvieux se divisent en deux types : de type pluie d'orage et du type cyclonique.

#### **-Les pluies d'orage**

Elles sont très intenses mais relativement courtes, où le maximum d'eau tombe en un quart d'heure ou une demi-heure en début de saison des pluies (décembre, janvier). Le débit instantané provoqué par la pluie est important et peut créer des inondations sur les bas quartiers pendant quelques minutes ou quelques heures.

#### **-Les pluies cycloniques**

Elles sont intenses (2 à 4 heures généralement) en fin de saison des pluies (février - mars). Les pluies cycloniques entraînent la montée du niveau des cours d'eau et des rivières à Antananarivo.

### **I-1-4-Vents**

Les vents dominants sur l'agglomération d'Antananarivo vont d'Est à Sud / Sud à Est. Les périodes venteuses sont dominantes à 58% en durée cumulée. Les périodes de calmes, sans vent, s'étalent sur environ un quart de l'année en durée cumulée.

### **I-1-5 - Sol**

La ville d'Antananarivo est située sur un massif rocheux de gneiss, de granite, quelquefois de quartz et de mica noir. La décomposition de la partie supérieure de ces roches donne de l'argile. Cette argile constitue la majeure partie du sol de la ville.

## **I-2- Description du canal Andriantany**

### **I-2-1-Localisation**

Le canal Andriantany est situé au cœur de la commune urbaine d'Antananarivo. Il s'écoule à travers cinq arrondissements (sauf le 2<sup>ème</sup> arrondissement). Il mesure 24, 835km dont 13,835 km de la prise d'Ankadimbahoaka jusqu'à la station de pompage à Ambodimita et 11km d'Ambodimita jusqu'au confluent avec la rivière d'Ikopa à Ampanindrona (*Carte 2*). L'ouvrage de garde à Ambodimita permet de contrôler la circulation des eaux de l'Ikopa vers le canal Andriantany en période de crue, ou le canal Andriantany vers l'Ikopa en période d'étiage. La largeur du canal varie de 4,5 à 20,4 m en fonction de sa position de l'amont en aval.

### **I-2-2- Origine du canal andriantany**

En 1987, le roi Andrianampoinimerina a été décidé de la construction du canal Andriantany. Le creusement de ce canal se faisait à la main. Des rizières ont été créées entre le pied de la colline du Rova et les digues. Le canal Andriantany commence à partir du barrage de Tanjombato et traverse la plaine d'Antananarivo en passant par les cités de 67ha et les plaines de Laniera et rejoint la même rivière Ikopa à Ampanindrona.

### **I-2-3-Rôle du canal Andriantany**

Le rôle actuel du canal Andriantany est donc de collecter et d'évacuer les eaux usées de toutes sortes et les eaux de ruissellement pluviales, provenant des bas quartiers de la capitale. Il draine également la plaine agricole. Pour éviter de nombreux problèmes qui posent à ce double fonctionnement, la commune crée un nouveau canal principal d'irrigation appelée canal GR. Le canal Andriantany est réservé uniquement à l'assainissement des bas quartiers et au drainage de la plaine urbanisée d'Antananarivo.

Lors des fortes pluies, l'assainissement du capital est assuré par la station de pompage d'Ambodimita. En effet, lorsque le niveau d'eau dans le canal est trop élevé, les eaux sont

pompées et rejetées dans la rivière Mamba dont le niveau d'eau est nettement supérieur à celui de la plaine.

## II -ECHANTILLONAGE

### II-1-Description de l'échantillon

Les échantillons pour les analyses physico-chimiques sont prélevés le long du canal Andriantany. Les différents points de prélèvement ont été choisis suivant leur milieu environnant à savoir :

E1 : échantillon d'eau prélevé en amont du canal Andriantany(Ankadimbahoka)

E2 : échantillon d'eau prélevé dans le canal Andriantany à Anosibe.

E3 : échantillon d'eau prélevé dans le canal Andriantany à Ampefiloha.

E4 : échantillon d'eau prélevé dans le canal Andriantany à Isotry.

E5 : échantillon d'eau prélevé dans le canal Andriantany à Ankazomanga.

E6 : échantillon d'eau prélevé dans le canal Andriantany à Ankorondrano.

E7 : échantillon d'eau prélevé dans le canal Andriantany après ouvrage Masay.

E8 : échantillon d'eau prélevé dans le canal Andriantany à Amorona.

E9 : échantillon d'eau prélevé dans le canal Andriantany à Ambodimita.

E10 : échantillon d'eau prélevé en aval du canal Andriantany à Tanjondroa.

Ainsi, on a choisi deux points de prélèvements pour les analyses bactériologiques : à Ampefiloha (A) et à Ankorondrano (B).



Photo 1: Représentations des échantillons

### II-2-Localisation des points de prélèvements

Dans le cadre de notre étude, nous avons effectué au total 12 prélèvements dont 10 prélèvements pour l'analyse physico-chimique et 2 prélèvements pour l'analyse bactériologique. Les 12 prélèvements ont été choisis dans le réseau d'assainissement de la ville c'est à dire le canal

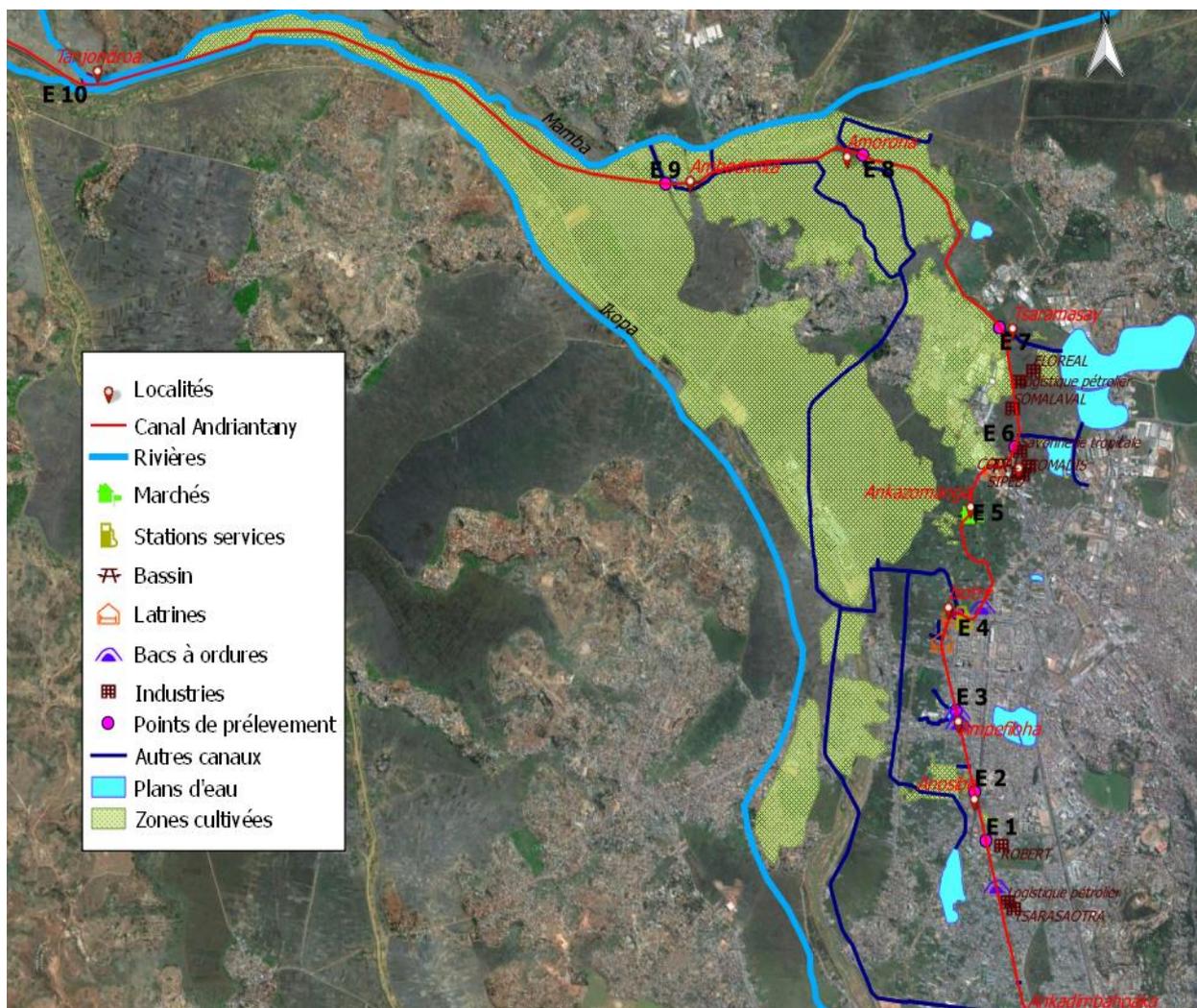
Andriantany et au niveau des points d'intersection des effluents avec des autres collecteurs d'eaux usées.

Les différents points choisis ont été caractérisés par les types de pollutions rencontrées (domestique, agricole et industrielle).

Tableau 5: Caractéristiques des points de prélèvement des eaux usées du canal Andriantany

| Points de prélèvements | Types de pollutions      | Coordonnées géographiques |               |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------|
|                        |                          | Latitude                  | Longitude     |
| <b>E1</b>              | domestique, industrielle | 18°55'38.12"S             | 47°31'07.34"E |
| <b>E2</b>              | domestique               | 18°55'23.75"S             | 47°31'02.19"E |
| <b>E3</b>              | domestique               | 18°54'55.16"S             | 47°30'55.93"E |
| <b>E4</b>              | domestique               | 18°54'04.84"S             | 47°30'29.61"E |
| <b>E5</b>              | domestique               | 18°53'42.51"S             | 47°31'01.83"E |
| <b>E6</b>              | domestique, industrielle | 18°53'19.41"S             | 47°31'18.43"E |
| <b>E7</b>              | domestique, industrielle | 18°52'48.51"S             | 47°31'21.97"E |
| <b>E8</b>              | domestique               | 18°51'40.23"S             | 47°30'17.23"E |
| <b>E9</b>              | agricole, domestique     | 18°51'47.72"S             | 47°29'00.64"E |
| <b>E10</b>             | agricole, domestique     | 18°51'13.55"S             | 47°25'09.03"E |

Les prélèvements sont effectués pendant la période sèche (mois juin en septembre) où les eaux du canal Andriantany sont concentrées en polluants, soit de nature domestique, soit de nature industrielle.



Source : L'auteur

Carte 2: Présentation du canal Andriantany et présentation des points de prélèvement

### III- PARAMETRES ANALYSES

Les analyses ont été effectuées au laboratoire de la JIRAMA. Les tests sont réalisés dans notre laboratoire « Chimie de l'Environnement ». Les paramètres analysés pour le suivi sont regroupés en paramètres organoleptiques, physico-chimiques, biologiques et bactériologiques :

- les paramètres organoleptiques : odeur et couleur,
- les paramètres physico-chimiques : température, turbidité, MeS, conductivité électrique (CE), pH, dureté totale, calcium, magnésium, fer, ammonium, chlorure, sodium, nitrate, nitrite, phosphate,
- les paramètres biologiques : DCO, DBO<sub>5</sub>,
- les paramètres bactériologiques: coliformes totaux (CT), coliformes thermo-tolérants (CTT), streptocoques fécaux (SF), bactéries anaérobies sulfite-réducteurs (ASR).

Tableau 6: Méthodes d'analyse et appareillage

| PARAMETRES             | METHODES       | APPAREILLAGES    | PRECISIONS |
|------------------------|----------------|------------------|------------|
| <i>Température</i>     | Electrométrie  | Thermomètre      | ± 0,01     |
| <i>pH</i>              | Electrométrie  | pH-mètre         | ± 0,01     |
| <i>Turbidité</i>       | Néphélogétrie  | Turbidimètre     | ± 0,02     |
| <i>Conductivité</i>    | Conductimétrie | Conductimètre    | ± 0,02     |
| <i>MES</i>             | Filtration     | Filtre sous vide | ± 0,1      |
| <i>Calcium</i>         | Titrimétrie    | -                | -          |
| <i>Magnésium</i>       | Titrimétrie    | -                | -          |
| <i>Ammonium</i>        | Spectrométrie  | Spectromètre     | ± 0,01     |
| <i>Chlorure</i>        | Titrimétrie    | -                | -          |
| <i>Nitrite</i>         | Spectrométrie  | Spectromètre     | ± 0,01     |
| <i>Nitrate</i>         | Spectrométrie  | Spectromètre     | ± 0,01     |
| <i>Fer</i>             | Titrimétrie    | -                | -          |
| <i>Sodium</i>          | Spectrométrie  | Spectromètre     | ± 0,01     |
| <i>Phosphate</i>       | Spectrométrie  | Spectromètre     | ± 0,01     |
| <i>DCO</i>             | Titrimétrie    | Bloc réfrigérant | ± 5        |
| <i>DBO<sub>5</sub></i> | Manométrie     | DBO-mètre        | ± 1        |

Pour l'analyse bactériologique, les échantillonnages sont effectués avec des flacons stérilisés et conservés à 4°C jusqu'en laboratoire. Pour quantifier les bactéries, on effectue le comptage direct des colonies et des spores après ensemencement.

Tableau 7: Méthode d'analyse bactériologique

| <b>PARAMETRE</b>         | <b>TEMPS<br/>D'INCUBATION</b> | <b>MILIEU DE CULTURE</b>                            |
|--------------------------|-------------------------------|---|
| Coliforme totaux         | 37°C pendant 24 h             | Gélose lactosée                                     |
| Coliforme thermotolérant | 44°C pendant 24 h             | Gélose lactosée                                     |
| Streptocoques fécaux     | 37°C pendant 48 h             | Bouillon glucosé à l'azoture                        |
| Bactéries ASR            | 44°C pendant 72 h             | Gélose contenant de sel de fer et sulfite de sodium |

#### **IV – ESSAIS DE TRAITEMENT PAR AERATION**

L'aération artificielle pour un traitement d'eau est divisée en deux types: l'insufflation d'air et l'aérateur mécanique. Les systèmes d'aération peuvent être classés en trois catégories (Karima A., 2009 ; Vermande S., 2005) :

- aérateurs mécaniques de surface : ce système est très bruyant et demande beaucoup d'énergie,
- aérateurs à injection d'air : ce système est réalisé avec l'introduction d'air surpressé en profondeur du bassin. L'air est fourni par des surpresseurs, des ventilateurs ou des turbocompresseurs selon le débit requis et l'immersion des diffuseurs,
- aérateurs à base de pompes : ce système est surtout utilisé pour l'aération des boues activées.

Pour notre étude, on a choisi l'aération par injection d'air à l'aide d'un mini-générateur d'air de marque HAILEA (modèle ACO- 6604). Le diffuseur placé au fond du bassin permet d'injecter l'air d'une façon continue et homogène dans l'eau. Dans une cuve de 10 litres, le générateur fournit environ 0,2 litres d'air par minute, soit  $23 \times 10^{-2}$  kg d'air par 1 litre d'eau. Pour que l'oxydation soit efficace, les tests sont effectués pendant 4 heures et 48 heures, dans une condition ambiante (Imhoff K., 1970). Le temps de décantation qui permet la bonne séparation de l'eau et de boues est de 2 heures au minimum avant d'effectuer le prélèvement pour l'analyse de l'eau surnageant. Les paramètres choisis après traitement sont : pH, CE, turbidité, MeS, et DCO.

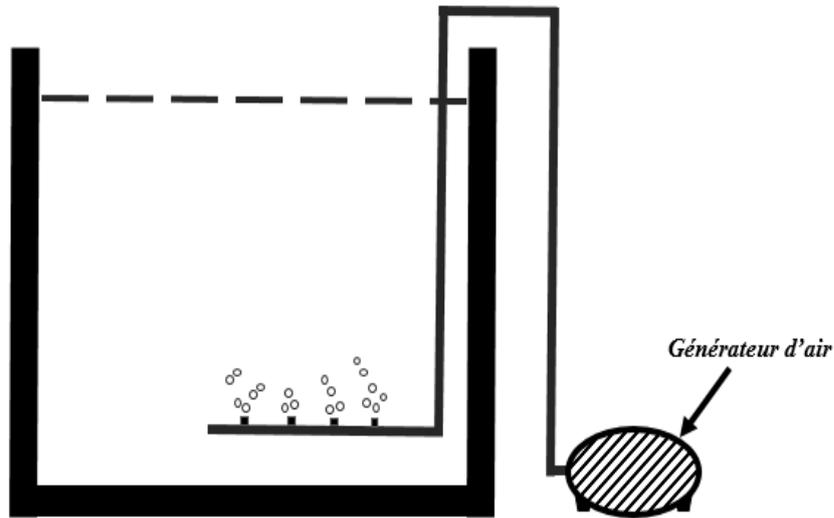


Figure 4: Schéma synoptique du montage de traitement

## V- METHODE D’EVALUATION DES PARAMETRES

Les valeurs obtenues sont évaluées par rapport aux différents critères relatifs aux rejets d’eau usée et aux valeurs limites pour les eaux de surface.

### V- 1- Les normes d’eaux usées

La norme est un document ou un fiche, qui est établi par accord et approuvé par un organisme reconnu. La norme représente des valeurs qui fixent une limite supérieure ou une limite inférieure à respecter. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret-loi.

La mise en place d’une norme est une action de surveillance et de réduction de la pollution de l’environnement. En 2003, le Ministère de l’environnement de l’Etat malagasy a publié le décret n°2003/464 du 15/04/03 portant classification des eaux de surface et règlementation des rejets d’effluents liquides. Ce décret propose les valeurs limites des rejets d’eaux usées (*Tableau 7*).

Tableau 8: Valeurs limites des rejets d'eaux usées

| <b>Paramètre</b>                | <b>Unité</b>           | <b>Normes</b> |
|---------------------------------|------------------------|---------------|
| Facteurs physiques              |                        |               |
| pH                              | -                      | 6,0-9,0       |
| Conductivité                    | μS/cm                  | 200           |
| Matières en suspension          | mg/l                   | 60            |
| Température                     | °C                     | 30            |
| Turbidité                       | NTU                    | 25            |
| Facteurs chimiques              |                        |               |
| Sulfates                        | mg/l                   | 250           |
| Chlorures                       | mg/l                   | 250           |
| Dureté totale CaCO <sub>3</sub> | mg/l                   | 180           |
| Nitrates                        | mg/l                   | 20            |
| Nitrites                        | mg/l                   | 0.2           |
| Fer                             | mg/l                   | 5             |
| Azote ammoniacal                | mg/l                   | 15            |
| Phosphates                      | mg/l                   | 10            |
| Facteurs biologiques            |                        |               |
| DCO                             | mg d'O <sub>2</sub> /l | 150           |
| DBO <sub>5</sub>                | mg d'O <sub>2</sub> /l | 50            |

Source : Ministère de l'environnement (2003)

### **V- 2- Classification des eaux de surface**

La classification des eaux de surface, notamment les cours d'eau ou rivière constitue un cadre qui fixe un certain nombre de valeurs permettant d'évaluer la qualité de l'eau en fonction de leur usage.

Tableau 9: Grille pour estimer la qualité générale de l'eau (Coste C. *et al*, 1987)

| Critères de qualité          | 1A<br>(excellente) | 1B<br>(bonne) | 2<br>(moyenne) | 3<br>(médiocre) | 4<br>(hors classe) |
|------------------------------|--------------------|---------------|----------------|-----------------|--------------------|
| Température                  | ≤20°C              | 20 à22°C      | 22 à25°C       | 25 à30°C        |                    |
| pH                           | 6,5-8,5            | 6 ,5-8,5      | 6,5-8,5        | 5,5-9,5         |                    |
| DBO                          | ≤3                 | 3 à 5         | 5 à 10         | 10 à25          | ≥25                |
| DCO                          | ≤20                | 20 à 25       | 25 à 40        | 40 à 80         | ≥80                |
| Fer                          | ≤0,5               | 0,5 à 1       | 1 à 1,5        |                 |                    |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | ≤0,1               | 0,1 à 0,5     | 0,5 à 2        | 2 à 8           | ≥8                 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |                    |               |                | 44              | 44 à 80            |
| MES                          | ≤30                | ≤30           | ≤30            | 30 à 70         | ≥70                |

### V- 3- Classification de la conductivité électrique des eaux

La conductivité mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique. La plupart des matières dissoutes dans l'eau se trouvent sous forme d'ions chargés électriquement. La mesure de la conductivité permet donc d'apprécier la quantité de sels dissous dans l'eau. Elle est aussi liée aux minéralisations globales de l'eau (*Tableau 10*).

Ce paramètre est en fonction de la température de l'eau. A cet effet, les mesures sont effectuées directement sur terrain.

Tableau 10: Relation entre conductivité et minéralisation (Rodier J., 1976)

| Conductivité électrique<br>(μS/cm) | Minéralisation    |
|------------------------------------|-------------------|
| CE <100                            | Très faible       |
| 100 < CE <200                      | Faible            |
| 200 < CE <333                      | Moyenne accentuée |
| 333 < CE <666                      | Moyenne           |
| 666 < CE <1000                     | Importante        |
| CE>1000                            | Excessive         |

#### V- 4- Salinité

La salinité de l'eau est évaluée par le SAR (Sodium Adsorption Ratio).

$$\text{S.A.R.} = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}}$$

#### V- 5- Critères biologiques

Les paramètres biologiques de l'eau sont exprimés par la DCO et la DBO<sub>5</sub>. Le rapport (DCO/DBO<sub>5</sub>) est l'indice de la biodégradabilité des polluants de rejet et donne une idée sur le traitement indispensable (Karima A., 2009) :

- Si ce rapport DCO/DBO<sub>5</sub> est inférieur à 1, les polluants sont à dominante organique biodégradable. L'eau résiduaire est excellente pour le traitement biologique.
- Si ce rapport DCO/DBO<sub>5</sub> est compris entre 1 à 2,5, les polluants sont à dominante organique biodégradable. L'eau résiduaire est bonne pour le traitement par voie biologique.
- Si ce rapport DCO/DBO<sub>5</sub> est compris entre 2,5 à 3,5, les polluants sont assez biodégradables. L'eau résiduaire est possible pour le traitement biologique mais avec adaptation de souches.
- Si ce rapport DCO/DBO<sub>5</sub> est supérieur à 3,5 les polluants sont inorganique difficilement biodégradables. L'eau résiduaire est impossible pour le traitement biologique.

#### V- 6- Critères microbiologiques des eaux

Les analyses microbiologiques sont basées sur la recherche et dénombrement de la présence des germes pathogènes dans l'eau. A cause de son multiple usage jusqu'à l'arrivée à Ikopa, les résultats d'analyse de l'eau du canal Andriantany sont interprétés par rapport à la norme applicable pour les eaux de baignade.

Tableau 11: Qualité requise pour les eaux de baignade (Méot B. et al, 1990)

| Paramètre            | Unité          | Valeur guide | Valeur impérative |
|----------------------|----------------|--------------|-------------------|
| Coliforme totaux     | Nombre /100 ml | 500          | 10 000            |
| Coliformes fécaux    | Nombre /100 ml | 100          | 2000              |
| Streptocoques fécaux | Nombre /100 ml | 100          |                   |
| Salmonelles          | Nombre /100 ml | -            | 0                 |

## **PARTIE III - PRESENTATIONS DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS**

### **I-PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES**

#### **I-1-La Couleur**

La couleur indique la présence des matières organiques colorées dissoutes ou colloïdales, des substances chimiques, des métaux ou rejets industriels dans l'eau. Les matières organiques proviennent de la décomposition des matières animales et végétales. Ces composés font croître les micro-organismes comme les algues, les bactéries et le virus. Elles sont aussi responsables de la couleur des eaux usées. La croissance des algues change la couleur et diminue la turbidité de l'eau. Les échantillons E3, E4 et E7 ont une couleur verte. Cette coloration est due à une prolifération des algues et micro-algues, favorisée par la présence des éléments nutritifs comme les nitrates et les phosphates. Ces composés sont dus au déversement direct des eaux usées domestiques et des eaux de vannes dans le canal (Ampefiloha, 67ha, Isotry, Manjakaray).

La couleur de l'eau dépend aussi de la présence ou absence de soufre intracellulaire et des densités relatives des populations algale et bactérienne (Martin G., 1987).

#### **I-2-L'Odeur**

L'odeur se réfère à la présence de substances organiques volatiles ou de certains gaz dans l'eau. Les eaux usées domestiques ont une odeur putride. Pendant la descente sur terrain, on sent des très mauvaises odeurs dans les quartiers d'Ampefiloha, d'Isotry et de Tsaramasay. Cela veut dire que ces eaux sont composées des eaux de vannes, des déchets solides et on observe aussi un fort développement d'algues.

### **II-PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES**

#### **II-1-Aspects physico-chimiques des eaux usées du canal Andriantany**

Les aspects des eaux usées dans le canal Andriantany sont déterminés par la température, la turbidité, la présence des Matières en suspension, la conductivité électrique de l'eau, le pH ainsi que sa dureté.

##### **II-1-1-La température de l'eau**

Pour la température, les valeurs collectées varient généralement entre 19 et 22 °C, c'est-à-dire la température proche de toutes les eaux de surface. On remarque qu'en E 6, la température mesurée atteint 28 °C, juste au point de rejet de l'industrie de savonnerie à Ankorondrano.

## II-1-2-La turbidité

Quant à la turbidité, elle est due à la présence de matériaux solides en suspension dans l'eau. Elle peut être également provoquée par la présence d'algues, de plancton, des matières organiques et la saturation d'autres substances comme le zinc, le fer, le manganèse et le sable, résultant du processus naturel d'érosion ou de rejets domestiques et industriels. La turbidité limite et élimine la végétation à cause de la diminution de l'intensité de la propagation de la lumière (Rodier J., 1976).

Les valeurs de la turbidité de l'eau du canal Andriantany sont très variées : 50,9 NTU à 775 NTU. Cette variation de la turbidité peut être expliquée par le déversement des eaux usées à chaque point de rejet le long du canal.

A partir de E6, on remarque une augmentation de la turbidité jusqu'à E10 (figure 5). En E8, la turbidité mesurée est très élevée par rapport aux autres échantillons. Cette augmentation indique une forte présence de pollution caractérisée par des matières organiques, des matières inorganiques dissoutes, et des matières en suspension. En ce point, on a une confluence avec le canal d'évacuation du lac Marais Masay. Ce qui explique que toutes les eaux usées de la ville atteignent le canal en E8. En ce point, l'eau prend une couleur verte, caractéristique d'une forte présence des micro-algues venant du lac Masay. Elle est réduite en E9 à cause de l'intersection avec un autre canal qui dilue l'eau.

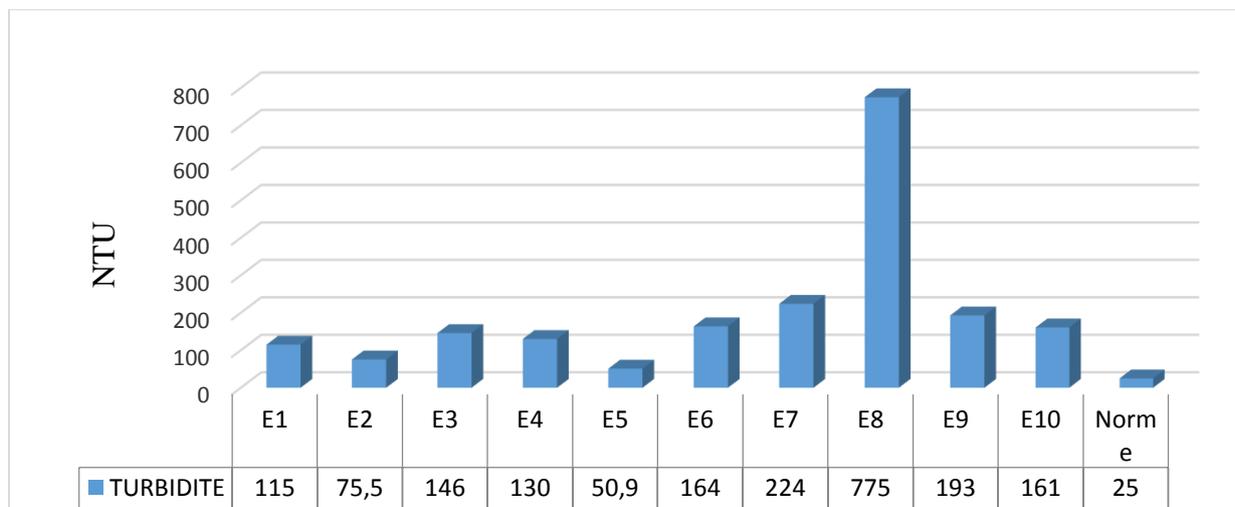
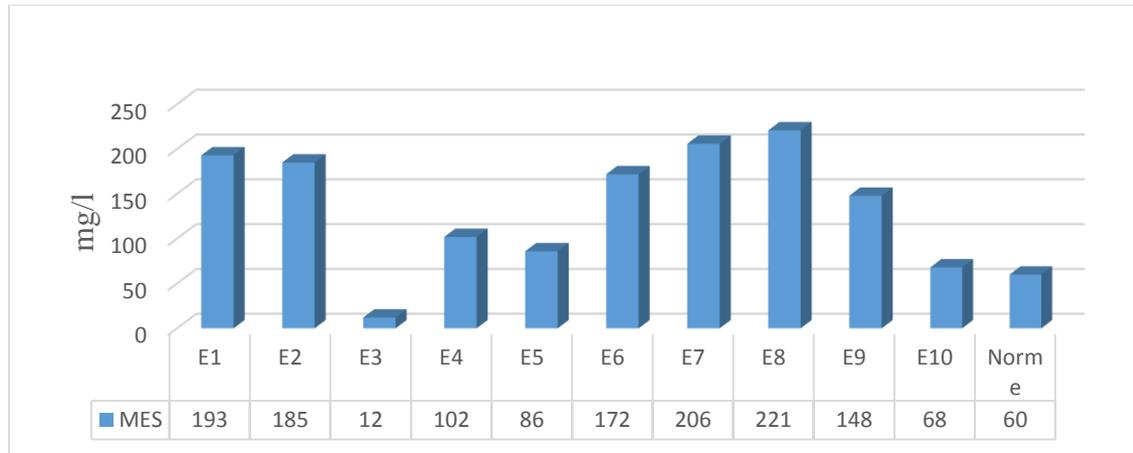


Figure 5: Evolution de la turbidité (NTU) des eaux usées du canal Andriantany

## II-1-3- Les matières en suspension

Les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux usées. Les teneurs élevées en MES peuvent être considérées comme une forme de pollution. Elles sont fonction de la nature des terrains traversées, de la saison, de la pluviométrie des travaux et de la nature des rejets (Rodier J., 1976).

L'eau du canal Andriantany contient une forte teneur en matières en suspension (*Figure 6*). Les teneurs en MeS mesurées varient de 12 mg/l (en E3) à 221 mg/l (en E8), avec une valeur moyenne de 139,3 mg/l. En fait les teneurs élevées de la MES peuvent stopper la pénétration de la lumière, diminuer l'oxygène dissous et limiter le développement de la vie aquatique. On constate aussi que la forte présence de jacinthe d'eau joue un rôle de barrière physique qui freine le transport de MES le long du canal (cas du E3). Il contribue à leur décantation et leur digestion (Khemicy Y., 2013).



**Figure 6:** Evolution des MeS (mg/l) des eaux usées du canal andriantany

#### II-1-4- La conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique (CE) constitue une bonne appréciation de la minéralisation d'une eau. La valeur de la conductivité électrique en amont (E1) est 440  $\mu\text{S}/\text{cm}$  qui diminue jusqu'à 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en aval. L'élévation de la CE est traduite par la présence d'une importante quantité de sels solubles et divers ions conducteurs de courant électrique.

D'après la classification de la valeur de la conductivité électrique des eaux, les échantillons prélevés dans le canal Andriantany ont une valeur moyenne de 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , c'est-à-dire une « minéralisation moyenne ». On remarque que lorsqu'on a une présence des unités industrielles à la périphérie du canal, les valeurs de la conductivité électrique de l'eau augmentent. En E1 par exemple, la zone héberge plusieurs industries (Chocolaterie Robert, Paraky Tsarasaotra) et possède un dépôt pétrolier.

Autours du point E6, la conductivité électrique de l'eau a fortement augmenté. On a une minéralisation excessive de l'eau,  $\text{CE} > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  (*Figure 7*) à cause du déversement des rejets fortement concentrés en sels solubles. On peut citer entre autres la présence d'une industrie de fabrication de piles électriques. On suspecte aussi la présence d'une industrie de savonnerie en E6 qui influe fortement la valeur de la conductivité électrique ainsi que le pH de l'eau.

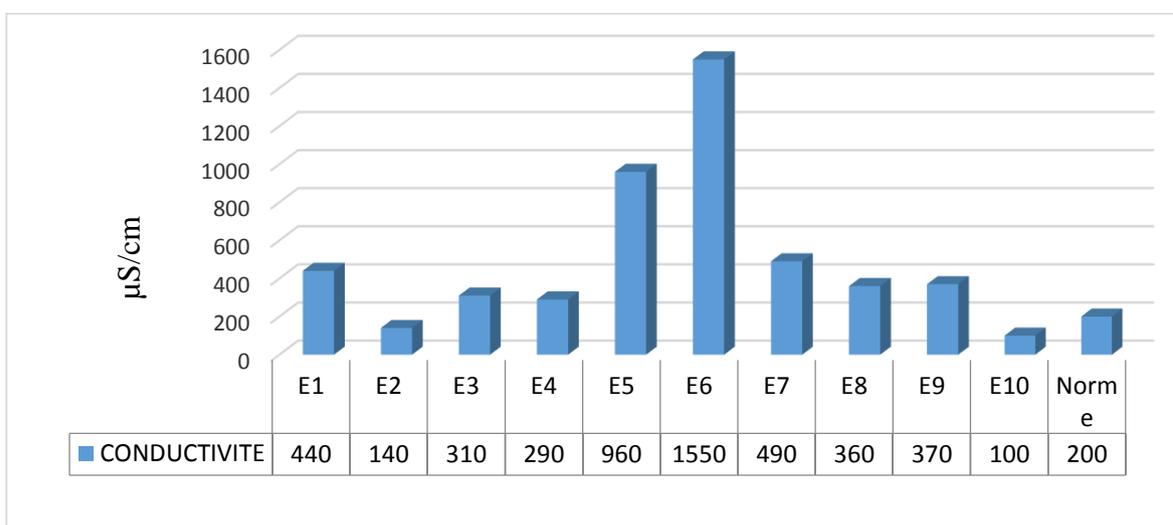


Figure 7: Evolution de la conductivité électrique ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) des eaux usées du canal Andriantany

### II-1-5- Le pH

En termes d'acidité ou de basicité de l'eau du canal, les pH de l'eau sont mesurés directement sur terrain avec la conductivité électrique. Les résultats obtenus sont présentés sur la Figure 8.

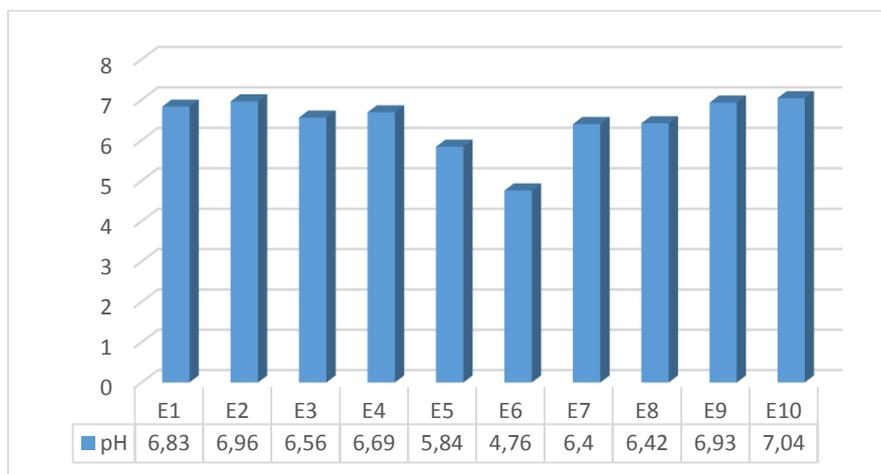
Les valeurs du pH mesurées varient entre 4,76 et 7,04. En amont, la valeur du pH de l'eau est de 6,63, puis elle augmente jusqu'à 7,04 en aval.

Au niveau du point E5 et E6, l'eau du canal est très acide. Les pH mesurés sont respectivement 5,84 et 4,76. Celle-ci est due par le rejet d'industrie de savonnerie qui utilise parfois des produits chimiques pendant les différents procédés.

Acides gras + glycérol + soude (ou potasse)  $\longrightarrow$  savon + glycérol (Donkor P., 1986)

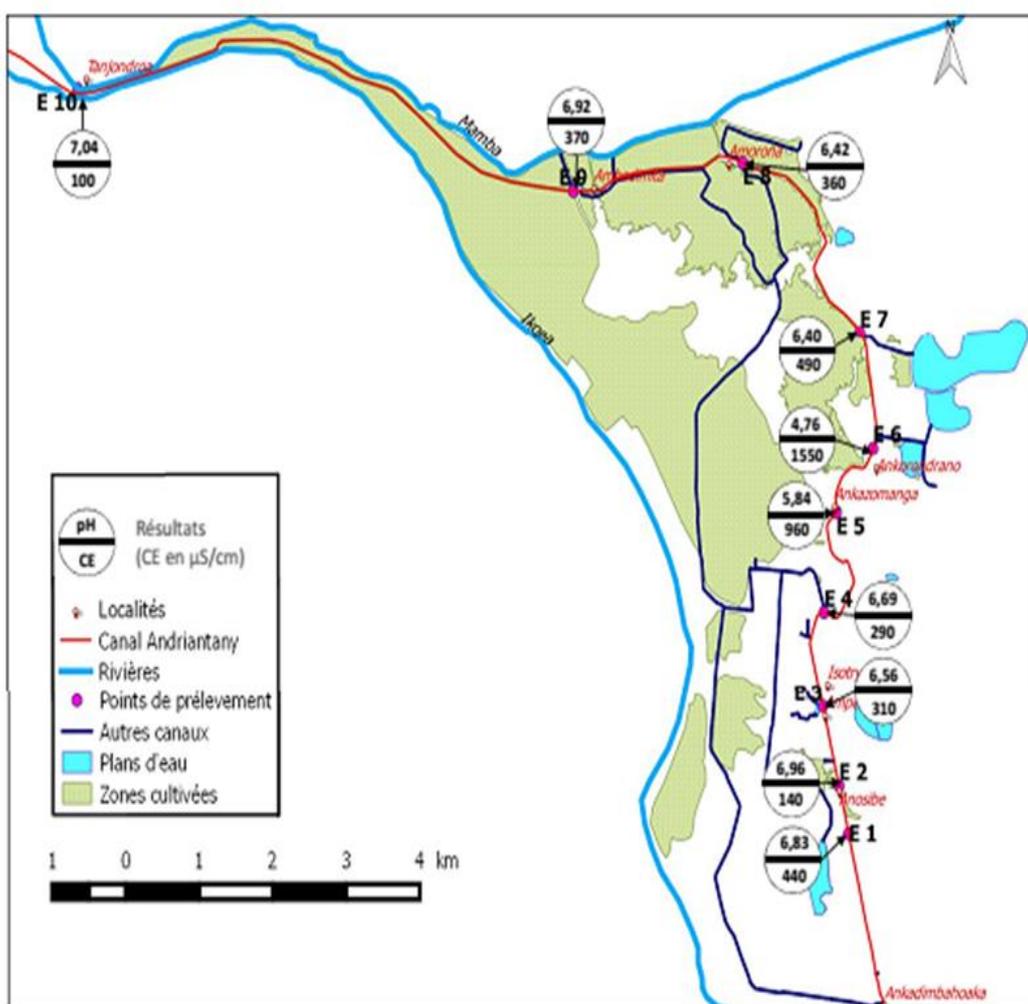
On tient compte aussi des rejets issus des autres sociétés, tels que le Siped (fabrication de piles), le Taf et Codal (industries alimentaires) qui peuvent émettre des substances chimiques (comme des colorants, des acides forts ou des bases fortes) dans leurs rejets.

Les rejets sont dilués au cours de son trajet (exemple : dilution par la rivière Mamba à Tanjondroa). Le pH devient neutre en aval, juste avant son union avec l'Ikopa à Ampanindrona.



**Figure 8:** Evolution du pH des eaux usées du canal Andriantany

La Carte 3 présente l'évolution spatiale de la Conductivité électrique et du pH de l'eau du canal Andriantany le long de son trajet.



**Carte 3:** Présentation des résultats pH et CE des eaux usées du canal Andriantany

## II-1-6- La dureté

Le calcium et le magnésium ne sont pas des éléments dangereux. Ils caractérisent la dureté de l'eau. Leur présence peut être naturelle, par dissolution des roches ou d'origine anthropique (eau usée domestique). Les teneurs en calcium mesurées dans le canal Andriantany varient de 13,6 à 42 mg/l. En comparant ce taux avec l'eau potable, le taux de calcium du canal est plus faible par rapport à l'eau potable de bonne qualité (100 à 140 mg/l) (Rodier J., 1976). Pour le magnésium, les concentrations mesurées varient de 6,8 à 17 mg/l (Figure 9). La dureté totale moyenne calculée est de 10,8°F, une valeur caractéristique d'une eau douce (Mayet J., 1994).

Tableau 12: Résultats d'analyse de la dureté totale

|                    | E1   | E2 | E3  | E4   | E5  | E6   | E7   | E8   | E9  | E10 |
|--------------------|------|----|-----|------|-----|------|------|------|-----|-----|
| Dureté Totale (°F) | 17,2 | 12 | 8,8 | 10,2 | 9,2 | 10,8 | 13,2 | 11,6 | 8,4 | 6,3 |

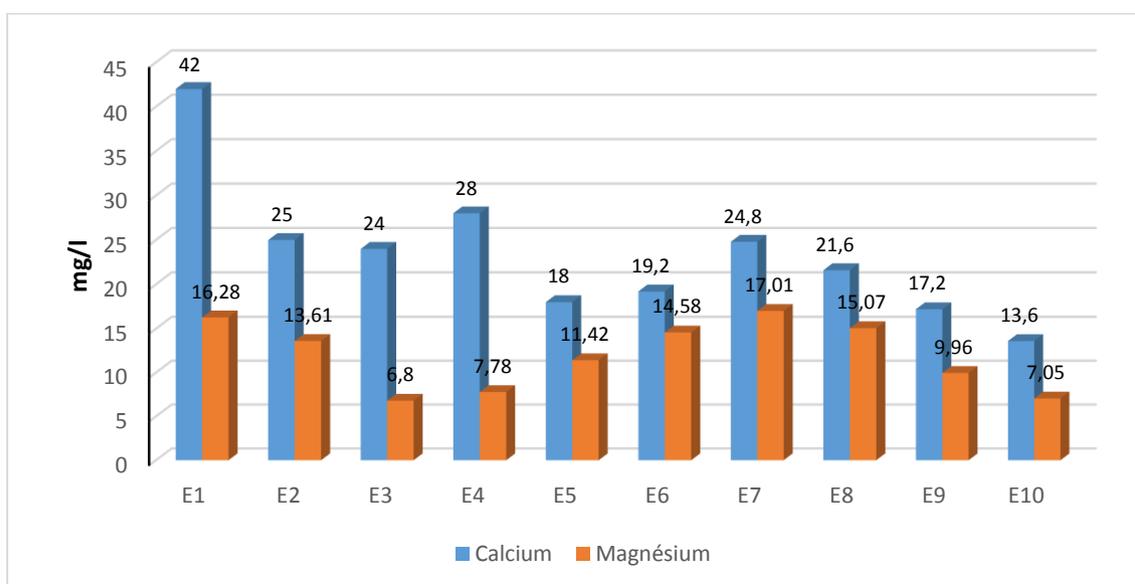


Figure 9: Teneur en calcium, magnésium des eaux usées du canal Andriantany

## II- 2- Les pollutions azotées et phosphorées

La présence des polluants azotés et phosphorés caractérise généralement les eaux usées domestiques par l'utilisation des divers types de détergents et déchets organiques. Mais ils peuvent être élevés aussi par le lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles.

### II- 2- 1- Les pollutions azotées

Dans l'eau, la pollution azotée se présente sous différentes formes : oxydées (nitrates, nitrites) et réduite (ammonium). Ces diverses formes sont obtenues soit par apport direct soit par

transformation naturelle au cours du cycle de l'azote, notamment lorsque des matières organiques se décomposent par l'action des bactéries. L'azote organique se transforme en composés ammoniacaux puis en nitrates par oxydation.

L'oxydation de l'ammonium en nitrite se réalise grâce aux bactéries dites nitreuses (les nitrosomonas).



La nitratisation se réalise par la présence des bactéries nitritiques (les nitrobacters)



Dans le canal Andriantany, on a une forte domination de pollution par des nitrates par rapport au nitrite et ammonium. Les valeurs en nitrate obtenues sont largement supérieures à la norme préconisée (20 mg/l pour les rejets d'eau usée et 25 mg/l pour les eaux de surface destinée à la consommation en Europe). La moyenne calculée de la teneur en nitrates dans le canal Andriantany est de 55 mg/l, alors que la limite à considérer par crainte de prolifération d'algues vertes est de 50 mg/l. On constate que lorsqu'on s'approche des zones à forte concentration industrielle ou des zones à forte agglomération, les teneurs en nitrates sont très élevées. Ces valeurs restent très élevées jusqu'au point de jonction avec Mamba à Tanjondroa (*Carte 4*). Elles atteignent des pics en E5 (153 mg/l) et E7 (115 mg/l). Ces valeurs peuvent expliquer la prolifération d'algues vertes dans l'eau du canal surtout entre le tronçon E3–E7, comme à Ampefiloha, à Alarobia et à Tsarasaotra (*Photo 2*). Cette couleur diminue lorsqu'on s'éloigne de la ville. Utilisée comme nutriment, la forte concentration en nitrate entraîne aussi la prolifération des jacinthes d'eau qui se trouvent presque le long du canal (*Photo 3*). En se référant du tableau 13, l'eau du canal Andriantany est classée dans la « *pollution importante* » (valeur moyenne en nitrate : 55mg/l).

Tableau 13: Grille pour signaler les problèmes d'azote (Bontoux J., 1993)

| Formes de l'azote                   | Situation normale | Pollution modérée | Pollution nette | Pollution importante | Pollution excessive |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l) | ≤0,1              | 0,1 à 0,5         | 0,5 à 2         | 2 à 8                | >8                  |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | ≤0,1              | 0,1 à 0,3         | 0,3 à 1         | 1 à 2                | >2                  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | ≤5                | 5 à 25            | 25 à 50         | 50 à 80              | >80                 |

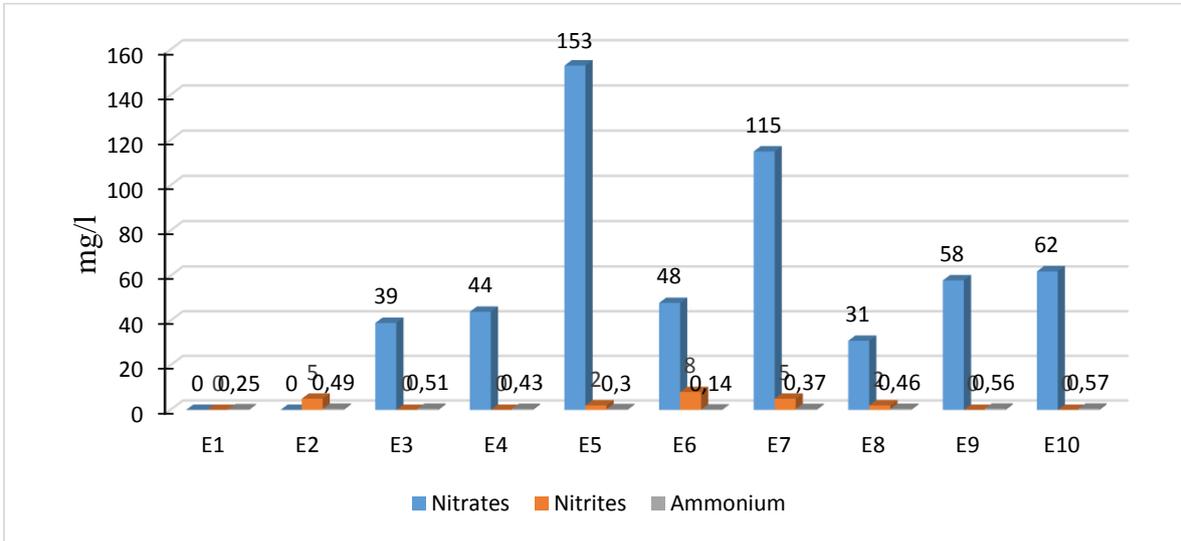
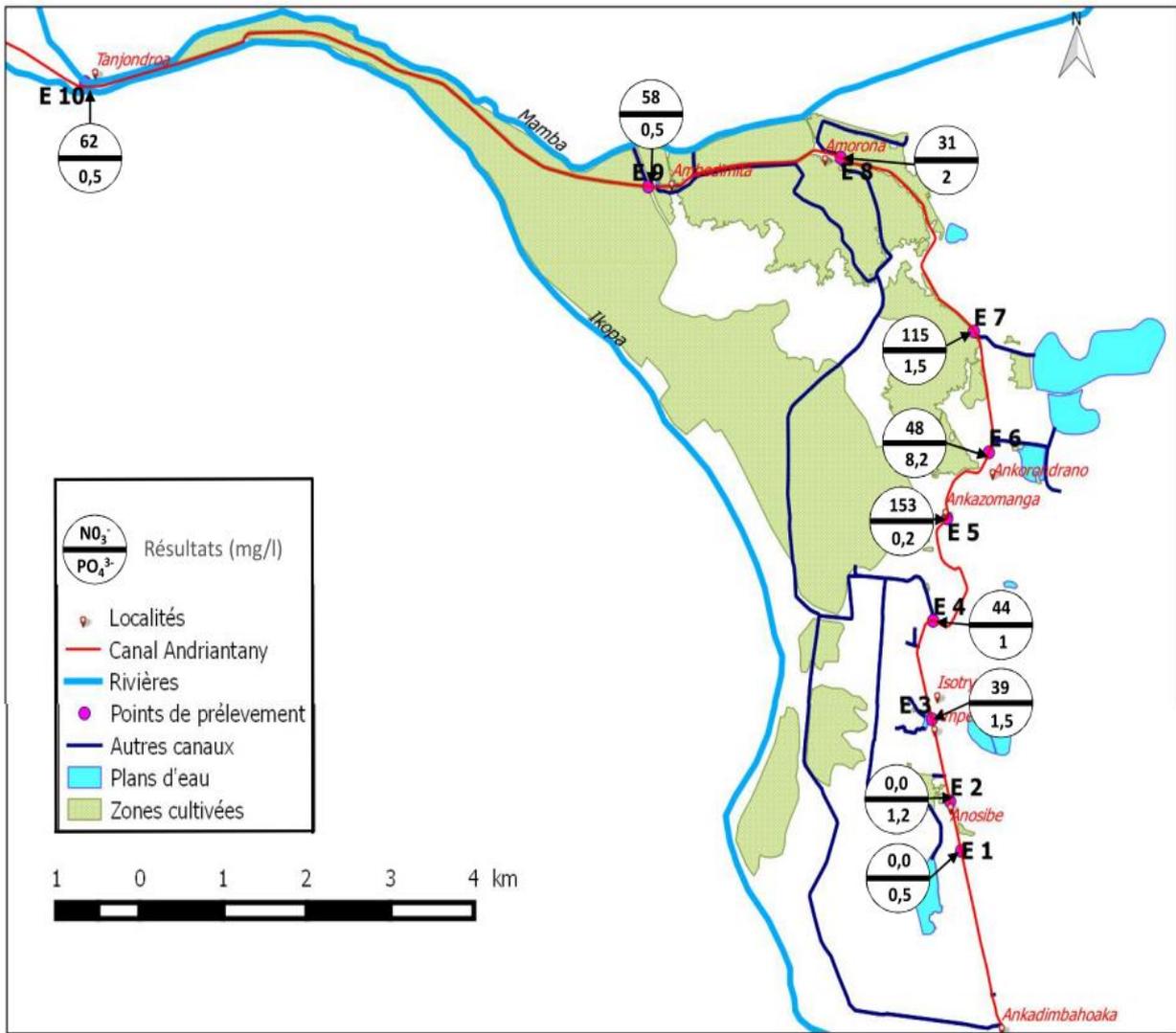


Figure 10: Teneur en nitrate, en nitrite et en ammonium des eaux usées du canal Andriantany



Carte 4: Présentation des résultats des nitrates et des phosphates



Photo 2: Aperçu de la couleur de l'eau du canal en point E7 (photo prise en mois d'octobre 2015)



Photo 3: Prolifération de jacinthes d'eau dans le canal Andriantany (photo prise en mois d'octobre 2015)

## **II- 2- 2- La pollution phosphorée**

Comme l'azote, le phosphore est utilisé comme élément nutritif des macro-flores dans le canal. Ces phosphates proviennent essentiellement des excréments humains, des détergents lors de lavage et par lessivage des sols par les eaux de pluie. Les eaux usées domestiques en contiennent environ 3-4g/personne/jours, correspondant à 30 à 50% d'origine humaine et 70 à 50 % de produits détergents (Martin G., 1987). Dans le canal Andriantany, on observe une présence

de phosphates à chaque point de prélèvement (*Carte 4*). Le pic se trouve sur le point 6 (8,2 mg/l), c'est-à-dire sur le point de rejet à Ankorondrano où se situent des usines de fabrication de piles électriques et de savonnerie. En savonnerie, les phosphates sont utilisés pour neutraliser la formation de calcaire. Ils sont donc rajoutés aux détergents pour adoucir l'eau et pour obtenir ainsi un meilleur lavage. Mais leur utilisation fait l'objet, depuis quelques années, d'une polémique entre producteurs et protecteurs de l'environnement. Comme en suisse, l'utilisation de phosphate dans les lessives a été interdite depuis 1986 pour éviter l'eutrophisation du lac Léman.

En réalité, les mécanismes d'eutrophisation sont initiés par les nitrates lorsque ceux-ci sont en grandes quantités à condition que les quantités de phosphates soient suffisantes. Mais ce phénomène se produit d'années en années, surtout pour les eaux stagnantes. Ils entraînent un déséquilibre de l'écosystème par la prolifération d'algues bleues ou cyanobactéries dont on sait mieux leur toxicité pour le milieu aquatique. A partir d'une concentration de 2mg/l, la pollution par les phosphates est excessive (*Tableau 14*).

Tableau 14: Grille pour signaler les problèmes de phosphore (Bontoux J., 1993)

| Forme du phosphore                   | Situation normale | Pollution modérée | Pollution nette | Pollution importante | Pollution excessive |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------|----------------------|---------------------|
| PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/l) | ≤ 0,2             | 0,2 à 0,5         | 0,5 à 1         | 1 à 2                | >2                  |

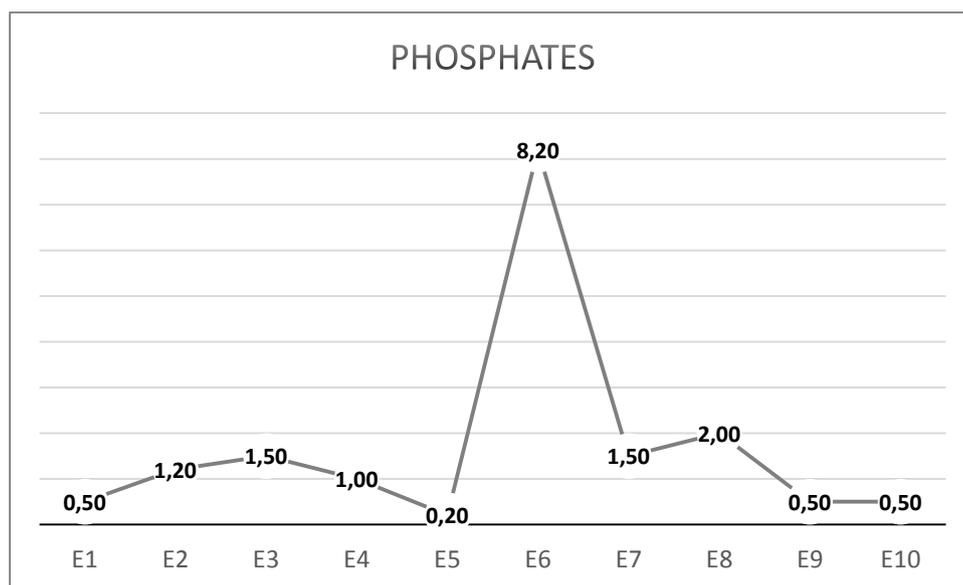


Figure 11: Teneur en phosphates (mg/l) des eaux usées du canal Andriantany



Photo 4: Point de rejet de l'industrie de savonnerie dans le canal Andriantany

### II- 3- La pollution en fer

Le Fer est classé au quatrième rang des éléments de la croûte terrestre par ordre d'abondance (Bendada K. *et al*, 2011). Dans l'eau, le fer apparaît sous plusieurs formes : le fer en suspension et le fer dissous. L'ensemble de ces deux formes s'appellent le fer total (Lestage A *et al*, 1986). L'origine de fer peut être par lessivage du sol ou d'origine anthropique (domestique ou industriel). En milieu aérobie, le fer est oxydé en fer ferrique qui précipite et se trouve dans le sédiment. Mais dans les nappes souterraines, un milieu anoxique, il reste en solution. Les teneurs en fer dans les eaux du canal varient de 0,02 à 1,7 mg/l. Ces concentrations sont légèrement supérieures en approchant des zones industrielles (*Figure 12*) mais les teneurs restent au-dessous de la norme préconisée pour les eaux usées (5 mg/l).

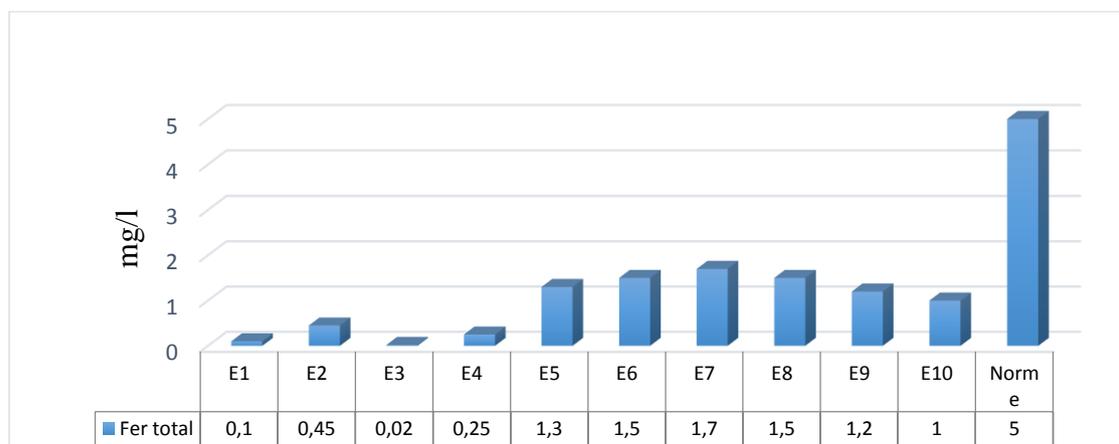
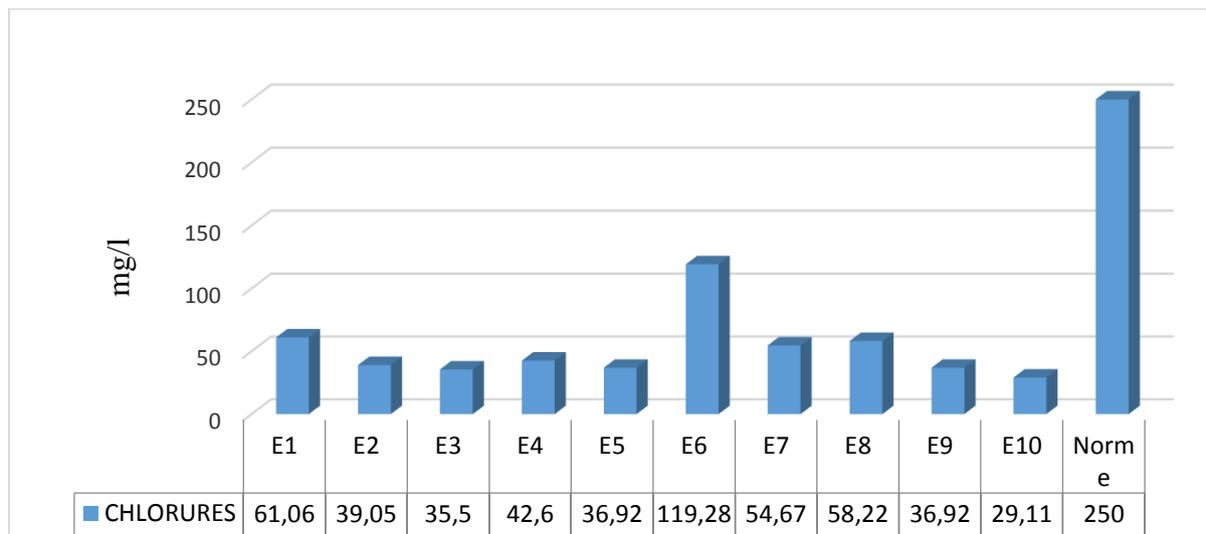


Figure 12: Evolution du fer total (mg/l) des eaux usées du canal Andriantany

## II- 4- La pollution en chlorure et en sodium

La teneur en chlorures d'une eau dépend de l'origine de l'eau et de la nature du terrain qu'elle traverse. Les chlorures sont présents en grande quantité dans l'eau de mer ( $\pm 19$  g/l). Leur concentration dans l'eau de pluie est approximativement de 3 mg/l. Habituellement, la teneur en chlorure des eaux de surface ne dépasse pas 50 mg/l. Alors que dans le canal Andriantany, la teneur en chlorure moyenne est de l'ordre de 52 mg/l. Ces valeurs sont élevées lorsqu'on s'approche de la zone industrielle ou de la zone à forte fréquentation humaine (marché ou bassin public) comme en E1, E6, E7 et E8 (*Figure 13*).



**Figure 13:** Evolution de la teneur en chlorure (mg/l) des eaux usées du canal Andriantany

L'ion sodium joue un rôle dans la salinité de l'eau, et caractérise son aptitude à l'irrigation. Le calcul du rapport d'adsorption du sodium (ou SAR) exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols et constitue un critère d'appréciation de son pouvoir alcalinisant. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium. Il est défini par la relation décrite dans la partie II (V-4).

Les SAR calculés dans les eaux du canal Andriantany se trouvent généralement entre 0 à 3. L'eau du canal n'a pas de restriction particulière pour son utilisation à l'irrigation (Rodier J., 1976). Mais au niveau du point 6 (E6), on a une légère élévation du SAR (*Figure 14*), ce qui attire une attention particulière lorsque l'eau est utilisée pour les cultures sensibles comme les haricots et certains légumes.

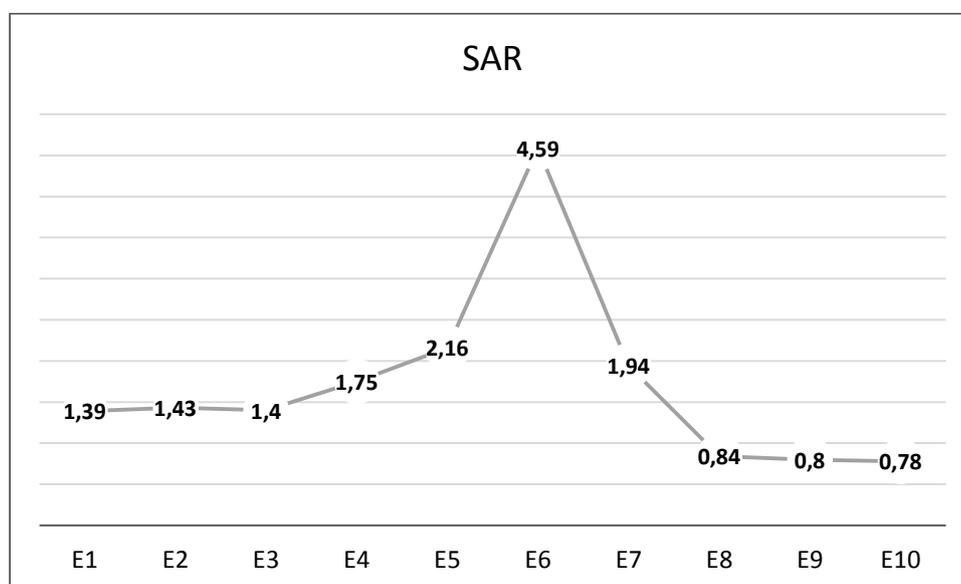


Figure 14: Evolution du SAR le long du canal Andriantany

### III- PARAMETRES BIOLOGIQUES

Deux paramètres permettent d'évaluer la quantité des matières organiques présentes dans l'eau : la demande biochimique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) et la demande chimique en oxygène (DCO). La différence entre la DCO et la DBO<sub>5</sub> représente des substances qui ne peuvent pas être décomposées biologiquement. Par contre, le rapport entre la DCO et la DBO<sub>5</sub> constitue une mesure indicative de la dégradabilité des composés présents dans l'eau.

Tableau 15: Teneur en DCO et en DBO<sub>5</sub> des eaux du canal Andriantany

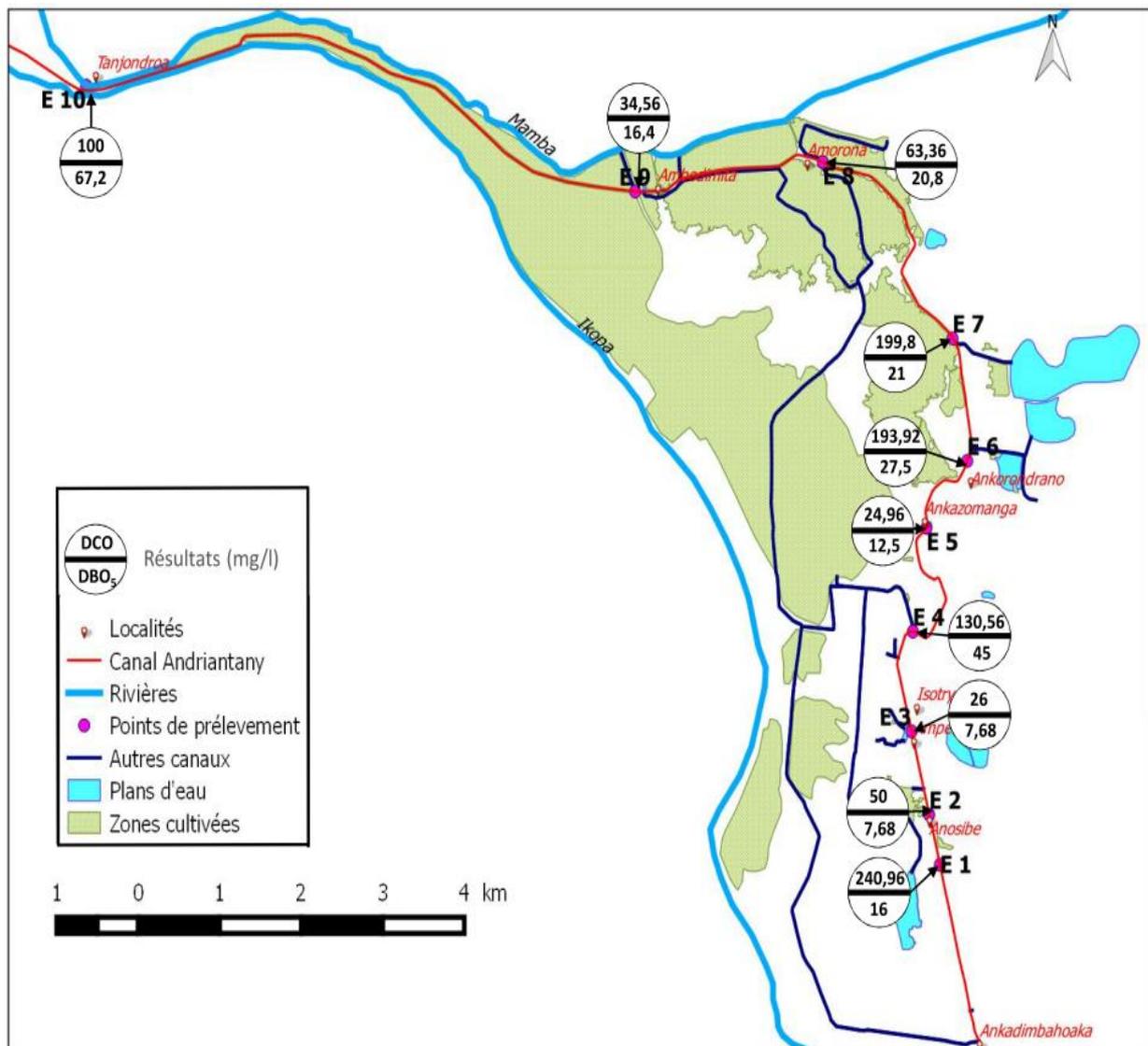
| Paramètres | DCO (mg/l) | DBO <sub>5</sub> (mg/l) | DCO/DBO <sub>5</sub> |
|------------|------------|-------------------------|----------------------|
| E1         | 240.96     | 16                      | 15.06                |
| E2         | 50         | 7.68                    | 6.51                 |
| E3         | 26         | 7.68                    | 3.38                 |
| E4         | 130.56     | 45                      | 2.9                  |
| E5         | 50         | 24.96                   | 2                    |
| E6         | 193.92     | 145                     | 1.33                 |
| E7         | 199.68     | 32                      | 6.24                 |
| E8         | 63.36      | 32                      | 1.98                 |
| E9         | 34.56      | 34                      | 1.01                 |
| E10        | 100        | 67.2                    | 1.48                 |
| Moyenne    | 108,9      | 41,15                   | 2,65                 |

D'après les résultats obtenus, on peut dire que l'eau du canal Andriantany est caractérisée par une forte charge organique. Les valeurs moyennes de la DCO et de la DBO<sub>5</sub> sont respectivement 108,9 et 41 mg/l. Ces valeurs sont caractéristiques des eaux usées urbaines. Pour une industrie agroalimentaire par exemple, la DCO peut atteindre 6000 mg/l et la DBO<sub>5</sub> peut aller jusqu'à 3000 mg/l. Mais pour nos échantillons, la valeur maximale obtenue est de 240,96 mg/l (E1) pour la DCO et 145 mg/ (E6) pour la DBO<sub>5</sub>. Ces valeurs évoluent selon les activités au bord du canal Andriantany. On peut trouver entre autres des habitations, des marchés et des usines (*Carte 6*).

En comparant le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> (*Tableau 15*), on constate qu'en E1, E2 et en E7, les résultats montrent une forte présence des substances difficilement biodégradables. Cette pollution est due probablement à la présence des dépôts pétroliers à Sonierana et à Ankorondrano (*Carte 6*). Les déversements des hydrocarbures dans le canal ont été observés lors des nettoyages et pendant les décharges ou remplissages des cuves. Les eaux de lavage des sols sont acheminées directement dans le canal Andriantany (*Photo 5*).



Photo 5: Point de rejet d'une logistique pétrolière



Carte 5: Evolution de la teneur en DCO et DBO<sub>5</sub> le long du canal Andriantany

#### IV- PARAMETRES BACTERIOLOGIQUES

Les résultats bactériologiques des eaux du canal Andriantany, prélevées entre deux points différents A (Ampefiloha) et B (Ankorondrano) révèlent une forte présence de germes indicateurs de contamination fécale ainsi que certains de germes pathogènes.

La charge en coliformes totaux (CT) est de  $1,8 \times 10^4$  germes/100ml à Ampefiloha et de  $1,7 \times 10^4$  germes/100ml à Ankorondrano. Les charges en Streptocoques fécaux (ST) sont respectivement  $2,4 \times 10^4$  et  $5,2 \times 10^4$  germes /100ml. Pour les Coliformes thermotolérants (CTT), les charges obtenues sont  $1,4 \times 10^4$  germes/100ml en A et  $1,5 \times 10^4$  germes/100ml en B. Ces valeurs sont largement supérieures aux normes pour les eaux de surfaces autorisées pour baignade.



## V- RESULTATS DES ESSAIS DE TRAITEMENTS

Pendant le traitement, l'eau utilisée pour le test a été prélevée entre les points 6 et 7 dont l'eau est suggérée comme très polluée. Par le procédé d'aération, les résultats obtenus sont concluants surtout par l'apparence physique de l'eau. Les rejets deviennent plus clairs. Des matières organiques et matières en suspension se décantent et forment une grande quantité de boues qui se déposent au fond du bassin. Après aération, on constate que l'odeur putréfiante au début disparaît. Généralement, les principaux composés odorants dans les eaux usées sont les produits soufrés, azotés ainsi que les composés organiques tels que les acides gras volatils. La volatilisation des sulfures dans les molécules de sulfure d'hydrogène ainsi que la volatilisation de l'azote dans l'ammoniaque peuvent réduire l'odeur du rejet (au sens olfactif). Cette élimination peut aussi s'effectuer naturellement par contact avec l'air libre à la surface. Mais dans le système d'assainissement, on peut utiliser la méthode de pulvérisation ou cascade pour provoquer l'oxydation.

Tableau 16 : Résultats de traitement par aération

| Paramètre            | Rejet brute            | Aération 1     | Aération 2     |
|----------------------|------------------------|----------------|----------------|
|                      | Conditions opératoires |                |                |
| Volume d'oxygène     | -                      | 0,23kg/l d'eau | 0,23kg/l d'eau |
| Temps d'aération     | -                      | 4 h            | 48 h           |
| Temps de décantation | -                      | 2 h            | 2h             |
|                      | Résultats obtenus      |                |                |
| pH                   | 6,54                   | 7,58           | 8,24           |
| CE (µS/cm)           | 1230                   | 730            | 689            |
| DCO (mg/l)           | 158                    | 45,6           | 22,8           |
| MeS (mg/l)           | 162                    | 66             | 54             |
| Turbidité (NTU)      | 164                    | 33             | 27,5           |

Après aération, on observe que l'eau devient claire. Les matières colloïdales sont déstabilisées et puis se décantent. Pour les matières en suspension, le rendement épuratoire est environ 60%. Quant à la turbidité de l'eau, le taux d'épuration est de 79,88% après 4 heures d'aération et de 83,23% après 48 heures d'aération. Le lagunage aéré est reconnu comme un procédé d'épuration efficace, notamment au niveau des charges oxydables. Pour la DCO, le taux d'épuration est de 71,14 % après 4 heures d'insufflation d'air (*Tableau 17*). Lorsque l'aération est prolongé jusqu'à 48 heures, le rendement épuratoire atteint 85 %, alors que pour un système de boues activées, on

peut aller jusqu'à l'élimination de 99% de la DCO. Selon l'AERM (2007), la performance de cette méthode au niveau de l'azote ammoniacal et des orthophosphates est plus limitée : de l'ordre de 45 %.

Tableau 17 : Rendement épuratoire (%)

|                   | <b>Turbidité</b> | <b>MeS</b> | <b>DCO</b> |
|-------------------|------------------|------------|------------|
| <b>Aération 1</b> | 79,88            | 59,26      | 71,14      |
| <b>Aération 2</b> | 83,23            | 66,67      | 85,57      |

## CONCLUSION

L'eau du canal Andriantany est caractérisée par une forte pollution en matières organiques et minérales. Les pH de l'eau varient de 4,76 à 7. Les valeurs élevées de la conductivité électrique de l'eau ( $C_M=501$  mg/l) signifient la présence de divers ions dissous. La haute teneur en DCO ( $C_M=108,9$  mg/l) indique une forte domination des composés oxydables. En termes de matières nutritives, on a mesuré une forte concentration des composés azotés, notamment du nitrate ( $C_M=55$  mg/l). En comparant les concentrations de ces paramètres en amont du canal et en aval du canal Andriantany, on constate que les niveaux de pollution le long du canal sont atténués au cours de son trajet. Les pics de pollution sont localisés entre Ankorondrano et Soavimasandro. Faute d'infrastructure, la pratique de la défécation à l'air libre est souvent observée au bord du canal, d'où la forte contamination fécale. De plus, les ordures ménagères envahissent le canal. Au préalable, la CUA installe des systèmes de dégrillage comme à Anosibe, Ampefiloha, Isotry, 67 Ha, Ankazomanga, Alarobia pour retenir les déchets solides grossiers de types bouteilles, matières plastiques, branches, etc. On observa aussi des systèmes de dégraisseur comme à Ampefiloha.

Avec une vitesse très lente de l'eau, et une pente moyenne de 15 cm par 1 km, on peut dire que le canal Andriantany fonctionne comme un système de lagunage naturel. Des mini-barrages régulent les débits et réduisent la vitesse de l'eau à l'intérieur du réseau d'assainissement. Ceux-ci déclenchent les phénomènes d'autoépuration par augmentation du temps de séjour de l'eau dans le canal. La qualité du rejet a été améliorée à priori par les conditions thermohygro-métriques locales via l'évaporation et l'évapotranspiration. La vitesse lente favorise l'exposition du bassin à l'UV solaire car la photodégradation peut jouer un rôle important pour certains polluants. Le rayonnement ultraviolet participe aussi au cycle naturel des composés azotés et soufrés ainsi que pour l'équilibre général de l'écosystème.

Le développement rapide des jacinthes d'eau dans le canal signifie la performance de l'auto épuration du système. Ces macrophytes exportent et/ou dégradent la plupart des polluants présents dans l'eau, comme des matières organiques, les composés azotés et phosphatés ainsi que les métaux toxiques. La photosynthèse favorise le développement de microphytes (planctons, algues) qui consomment aussi de l'azote et du phosphore. Par adsorption, les sédiments peuvent retenir à leur tour divers éléments minéraux et hébergent plusieurs types de bactéries qui consomment aussi des composés organiques et minéraux pour leur croissance (par exemple le ferrobactérie). La présence de microorganismes joue une part importante à la biodégradation et à la bioconcentration de certains polluants. Bref, la dépollution de l'eau du canal est basée d'une part sur l'exportation ou dégradation des polluants par les plantes aquatiques et leurs interactions avec le sol et les microorganismes, et d'autre part, par les conditions naturelles du milieu : l'évapotranspiration, l'exposition au soleil ainsi que l'aération à l'interface eau-atmosphère.

En général, la performance d'une lagune doit être accompagnée toujours d'un procédé d'aération car cette technique est très efficace pour améliorer l'aspect physique et organoleptique de l'eau ainsi que l'élimination des matières organiques. Il est très efficace et peu coûteux. Le rendement épuratoire très compétitif par rapport aux autres systèmes comme le système à boues activés.

En terme de perspectives, les teneurs élevées en nitrates et phosphates dans les eaux du canal peuvent être valorisées en agricultures en tant que source importante de nutriments.

## Références bibliographiques

- AERM**, (2007), « *Procédés d'épuration des petites collectivités du bassin Rhin-Meuse* », Agence Eau Rhin-Meuse, 10p
- BDA**, (2012), « *Monographie de la région d'Antananarivo* », 12 p
- Bendada K., Boulakradeche M.W.**, (2011), « *Optimisation des conditions de dosage par spectroscopie d'absorption atomique (SAAF et SAAET) : Application à la détermination de la pollution et de la bioaccumulation des métaux lourds* », Mémoire de master en chimie - Université des sciences et de la technologie, Houari Boumedienne, Algérie, 73p
- Bontoux J.**, (1993), « *Introduction à l'étude des eaux douces : eaux naturelles, eaux usées, eaux de boisson* ». Qualité et santé, 2<sup>o</sup> éd. Cebedoc, Liège, 169p.
- Boucheseiche C., Cremille E., Pelte T., Pojer K.**, (2002), « *Guide technique : Pollution toxique et écotoxicologie* », Agence de l'Eau : Rhône-Méditerranée-Corse, 82 p
- Coste C., Loudet M.**, (1987), « *L'assainissement en milieu urbain ou rural : l'épuration et les traitements* », Tome 2, 2<sup>ème</sup> éd., Le Moniteur, Paris, 272p
- Dardenne G.**, (1975), « *Maitrise de la pollution et valorisation des effluents et résidus dans l'industrie alimentaire* », éd. APRIA, Paris, 473p
- Donkor P.**, (1986), « *Produire du savon* », GRET, Paris, 112p
- FAO**, (2003), « *L'irrigation avec des eaux usées traitées : Manuel d'utilisation* », FAO, 73p
- Fifi U.**, (2010), « *Impacts des eaux pluviales urbaines sur les eaux souterraines dans les pays en développement-mécanismes de transfert des métaux lourds à travers un sol modèle de Port-au-Prince, Haïti* », Thèse de doctorat en sciences de l'Environnement Industriel et Urbain - Université Quisqueya, Haïti, 260p
- Gerin M., Gosselin P.**, (2003), « *Environnement et santé publique - Fondements et pratiques - La qualité de l'eau* », Edisem /Tec & Doc, Paris, pp.333-368
- Godmaire H., Demer A.**, (2009), « *Eaux usées et fleuve Saint-Laurent : problèmes et solutions* », Union St-Laurent- Grands lacs, Quebec, 29p
- Guértin R.**, (1999), « *Milieu urbain et gestion de l'eau au Québec* », L'Atelier d'aménagement, d'urbanisme et d'Environnement, Salaberry, Québec, 44p
- Immoff K.**, (1970), « *Manuel de l'assainissement urbain* », 5<sup>o</sup> éd. Dunod, Paris, 452p

- ISN**, (2001), « *Eaux usées : normes de rejet* », ISN, Sénégal, 27p
- Karima A.**, (2009), « *Modélisation hydraulique d'un bassin d'aération des stations d'épuration des eaux usées* », Mémoire de Master, Faculté des Sciences- Département d'Hydraulique - Université de Badji Mokhtar-annaba, Algérie, 121p
- Keddall H., Yao J. N.**, (2008), « *Impacts de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines* », Revue HTE N°138, 17p
- Khemicy Y.**, (2013), « *Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique d'une eau usée épurée par un lit de plantes* », Mémoire de master, Université Kasdi Merbah, Algérie ,56p
- Le Limpec P.**, (2002), « *Guide pratique de l'agent préleveur chargé de la police des milieux aquatiques* », ISBN 978-2-85362-554-0, Edition cemagref, 162 pages
- Leroy J.B.**, (1986), « *La pollution des eaux* », 2° éd. Paris, Presses Universitaires de France, (Que sais-je?), 127p.
- Lestage A.**, (1986), « *Technique d'analyse des eaux résiduaires industrielles* », éd Centre technique de cuir- chaussure-Marquinerie, 195p
- Martin G.**, (1987), « *Point sur l'épuration et le traitement des effluents (air, eau) : 3 phosphores* », Vol 3, Tec & doc, Paris, 297p
- Mayet J.**, (1994), « *La pratique de l'eau : traitements de l'eau aux points d'utilisation, comportement de l'eau dans les installations, Origine des désordres et solutions* », 2° éd., Le Moniteur, Paris, 382p.
- Méot B., Alami Z.**, (1990), « *Les eaux usées urbaines : réglementation des rejets urbaines- traitement de finition par géoépuration* », éd BRGM, 99p
- Miller G.T.**, (2004), « *Sustaining the Earth: An Integrated Approach* », USGS : United States Geological Survey, ISBN 978-0-534-40088-0, p. 211–216.
- Ministère de l'Environnement**, (2003), « *Classification des eaux de surface et réglementation des rejets d'effluents liquides* ». Décret n°2003/464 du 15/04/03, 8p
- OMS**, (2012), « *Utilisation des eaux usées en agriculture* », OMS, 254p
- ONE**, (2012), « *Tableau de bord environnemental : région Analamanga* », ONE, 234p
- Papendick R.I., Elliott L.F., Dahlgren R.B.**, (1986), « *Environmental consequences of modern production agriculture: How can alternative agriculture address these issues and concerns?* », vol. 1, n°1, American Journal of Alternative Agriculture, pp.3-10

- Rakotomamy E., Madhow A., Razafindramanitra O.**, (1977), « *Rapport sur l'environnement urbain cas de la zone d'Antananarivo* », ONE – Banque mondiale, 93p
- Rodier J.**, (1976), « *L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : chimie, physico-chimie, bactériologie* », Tome 2, Dunod, 194 p
- Sibeud E.**, (2015), « *Guide méthodologique d'aménagement et eaux pluviales. Traitement de la pollution des eaux pluviales et protection des milieux aquatiques sur le territoire du Grand Lyon* », Métropole de Lyon, 55p
- SOMEAH**, (1993), « *Assainissement eaux usées de l'agglomération d'Antananarivo* », Someah, Antananarivo, 383p
- Vaillant J.R.**, (1974), « *Perfectionnements et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires: eaux usées urbaines et eaux usées résiduaires industrielles* », Eyrolles, Paris, 413p
- Vermande S.**, (2005), « *Modélisation hydrodynamique et biologique des bassins d'aération* », Thèse de doctorat, INSA-Toulouse, 252p

## Références Webographies

**1-**<http://www.planetoscope.com/eau-oceans/1104-litres-d-eaux-usees-rejetees-dans-la-nature-dans-le-monde.html>, consulté le 10/03/15

**2-**[http://www.eaumartinique.fr/IMG/pdf\\_ODE-FeteScience2006-eau et maladies-A4.pdf](http://www.eaumartinique.fr/IMG/pdf_ODE-FeteScience2006-eau%20et%20maladies-A4.pdf), consulté le 15/07/15

**3-**<http://www.cieau.com/les-eaux-usees/les-origines-des-eaux-usees>, consulté le 02/07/15

**4-**[http://www.memoireonline.com/06/11/4587/m\\_Reflexion-sur-la-caracterisation-physico-chimique-des-effluents-liquides-rejetes-dans-la-grande-s2.html](http://www.memoireonline.com/06/11/4587/m_Reflexion-sur-la-caracterisation-physico-chimique-des-effluents-liquides-rejetes-dans-la-grande-s2.html), consulté le 08/10/15

**5-**[http://www4.ac-nancy-metz.fr/ia54-circos/ienstmax/sites/ienstmax/IMG/pdf,les eaux usées et leur épuration.](http://www4.ac-nancy-metz.fr/ia54-circos/ienstmax/sites/ienstmax/IMG/pdf/les_eaux_usées_et_leur_é_puration_.) , consulté le 02/02/16

# **ANNEXES**

# PROCOLES D'ANALYSE

## 1- LA DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE : DCO

DCO : c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour réaliser l'oxydation des matières organiques (et de certaines matières inorganiques) par voie chimique : 2 heures sous réfrigérant à reflux à 150° en présence de bichromate ( $K_2Cr_2O_7$ ), un oxydant puissant.

Après refroidissement, diluer l'échantillon avec de l'eau distillée et titrer l'excès de bichromate avec le sel Mohr jusqu'au virage rouge orangé.

Même procédé avec d'eau distillée.

Mode de calcul :

$$DCO = 8000c (V_1 - V_2)/V_0 \text{ mg d'O}_2/\text{l}$$

Où

C : concentration de sel de Mohr ( $C = 0,125\text{mol/l}$ )

$V_0$  : volume de la prise d'essai (ml)

$V_1$  : volume du sel de Mohr pour l'essai à blanc (ml)

$V_2$  : volume du sel de Mohr pour l'eau à analyser

DCO : exprimé en mg d'O<sub>2</sub>/l

## 2- LA DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE : DBO<sub>5</sub>

DBO<sub>5</sub>, c'est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes pour assimiler et oxyder les matières organiques biodégradables présentes dans une eau usée qu'on laisse incuber à 20°C pendant 5 jours.

Principe : L'échantillon mesuré est placé dans chaque flacon brun. Les flacons sont placés sur l'appareil et connectés par leur bouchon au manomètre à mercure fermé. Dans le flacon, au-dessus de l'échantillon d'eau, il y a de l'air qui contient 21% d'oxygène. Les bactéries utilisent continuellement de l'oxygène pour oxyder la matière organique présente; ainsi, l'oxygène est éliminé de l'échantillon. L'air au-dessus de l'échantillon remplace l'oxygène consommé et une diminution de la pression d'air se produit dans le flacon.

La diminution de la pression de l'air fait monter le niveau de mercure dans le manomètre et indique une valeur sur l'échelle de DBO en mg l<sup>-1</sup>. Les variations de la pression atmosphérique extérieure sont exclues parce que le système est fermé.

Le gaz carbonique est produit par les micro-organismes qui oxydent les matières organiques et doit être éliminé du système, de manière à ce que la différence de pression dans le système soit seulement proportionnelle à la quantité d'oxygène utilisée.

Le gaz carbonique est absorbé par des cristaux d'hydroxyde de lithium.

DBO<sub>5</sub> : exprimée en mg d'O<sub>2</sub>/l

| <b>Gamme de DBO<br/>(mg /l)</b> | <b>Volume d'échantillon<br/>nécessaire<br/>(ml)</b> | <b>Echelle<br/>(mg /l)</b> |
|---------------------------------|---|----------------------------|
| 0 – 35                          | 420   | 0 – 35                     |
| 0 – 350                         | 160   | 0 – 350                    |
| 0 – 70                          | 355   | 0 – 70                     |
| 0 – 700                         | 95  | 0 - 700                    |

### 3- DETERMINATION DES MATIERES EN SUSPENSION

Les MES s'obtiennent par filtration des effluents, suivi d'un séchage à 105°C dans une étuve jusqu'à obtenir un résidu sec. Le rapport de la différence de masse sur le volume d'eau filtré donne la concentration des MES en milligramme/litre.

### 4- PHOSPHATES

Les phosphates donnent un complexe phosphomolybdique en présence de molybdate d'ammonium, en milieu acide. Après une réduction par une solution de chlorure stanneux, ce complexe développe une coloration bleue susceptible d'un dosage colorimétrique.

Dans un tube à essai, mettre successivement 2 ml de filtrat, 5 ml d'eau distillée, 2 ml de la solution de molybdate d'ammonium et 1 ml de la solution diluée de chlorure stanneux. Faire un essai à blanc. Attendre quelques minutes, puis effectuer les mesures au spectromètre à la longueur d'onde de 660 nm.

### 5- AMMONIUM

Le réactif de Nessler (iodo-mercure de potassium alcalin) en présence d'ion ammonium est décomposé avec formation d'iodure de dimercuriammonium qui permet le dosage colorimétrique des ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

Mode opératoire : On prélève 50ml d'échantillon d'eau et 2ml du réactif de Nessler dans une fiole jaugée et on prépare de la même façon un témoin à partir de l'eau distillée. Après 10mn de repos, on effectue les lectures au spectromètre à la longueur d'onde de 425nm.

$\text{NH}_4^+$  : exprimé en mg/l d'eau

## 6- NITRATE

En présence de salicylate de sodium, les nitrates donnent du para nitrosalicylate de sodium coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

On introduit 10ml d'eau à analyser dans un bécher (pour des teneurs en azote nitrique supérieures à 10mg/l, opérer une dilution) Alcaliniser faiblement avec la solution d'hydroxyde de sodium. On ajoute 1ml de solution de salicylate de sodium.

On prépare de la même façon un témoin avec 10ml d'eau distillée. Porter au bain-marie à 75 – 80°C. Laisser refroidir. Reprendre le résidu par 2ml d'acide sulfurique concentré en prenant soin de l'humecter complètement. Après 10mn, ajouter 15ml d'eau distillée puis 15ml de solution d'hydroxyde de sodium et de tartrate double de sodium et de potassium.

Effectuer les lectures sur spectromètre à la longueur d'onde 415nm tout en tenant compte de la valeur lue pour le témoin.

$\text{NO}_3^-$  : exprimé de mg /l d'eau

## 7- NITRITE

L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique, en présence d'un ammonium et phénol, forme avec les ions  $\text{NO}_2^-$  dont l'intensité de couleur est proportionnelle à la concentration en nitrite.

On prélève 50ml d'eau à analyser et ajoute 2ml de réactif de Zambelli. Après 10mn de repos, on ajoute ensuite 2ml d'ammoniaque pure.

On prépare de la même façon un témoin avec 80ml d'eau distillée. Effectuer la lecture au spectromètre à la longueur d'onde 435nm.

$\text{NO}_2^-$  : exprimée en mg/l d'eau

## 8- FER

La détermination de la teneur en Fer total dans l'eau est effectuée à l'aide des plaquettes "Fer 0,06 à 1mg/l et 0,3 à 5 mg/l".

On prépare 100ml d'eau et une jauge de dithionite de sodium (réducteur). Après quelques minutes de repos, on ajoute 2ml de dimethylglyoxine et 2ml d'ammoniaque. Agiter et laisser reposer 2mn.

On lit la teneur en fer (mg/l) dans le comparateur avec des plaquettes étalons.

Principe: En milieu ammoniacal, le diméthylglyoxine donne en présence du  $\text{Fe}^{2+}$  un complexe de coloration rose dont l'intensité est fonction croissante de la concentration.

Si l'intensité de couleur est supérieure à celle des écrans, on fait une dilution préalable en tenant compte des facteurs de dilution.

## 9- DURETE

TH : exprimée en °F

THCa : exprimée en °F

Ca : exprimée en mg /l

Mg : exprimée en mg /l

Les alcalino-terreux présents dans l'eau sont amenés à former un complexe de type chélate par le sel disodique de l'E.D.T.A.

La disparition des dernières traces d'éléments libres à doser est décelée par le virage d'un indicateur spécifique de la dureté totale (Le noir d'ériochrome T). La méthode permet de doser la somme des ions calcium et magnésium.

TH : 100ml d'eau à analyser, 2ml de tampon TH et quelques gouttes de NET

THCa : 100ml d'eau à analyser, 2ml de NaOH (3N) et quelques cristaux de Patton et Reeder.

On dose ces solutions avec de complexon III jusqu'au virage au rouge au bleu-vert. Vérifier qu'une goutte de complexon ne produit plus de tache bleu-vert.

Notons V, le volume de l'EDTA versé.

Mode de calcul :

La dureté totale exprimée en °F = Vml

La dureté calcique exprimée en °F = Vml

## 10- TURBIDITE

La mesure est effectuée à l'aide d'un turbidimètre en NTU, c'est-à-dire mesurer l'intensité de lumière diffractée par les particules en suspension dans l'eau.

Les unités : FTU, NTU, JTU selon le type de l'appareil.

## 11- CHLORURE : Cl<sup>-</sup>

On prépare 10ml d'eau à analyser avec 3 à 5 gouttes de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>. Le titrage s'effectue par l'AgNO<sub>3</sub>, jusqu'au virage au rouge brique.

Principe : Le nitrate d'argent précipite le chlorure sous forme d'AgCl<sub>2</sub>. La fin des réactions est repérée par l'apparition de la teinte rouge du chromate d'argent (début de virage).

Cl<sup>-</sup> est exprimée en mg /l

Mode de calcul :

Pour AgNO<sub>3</sub> (N/20) : Cl en mg/l = Vml\*35,5 mg /l

Pour AgNO<sub>3</sub> (N/50) : Cl en mg/l = (Vml\*35,5)/5 mg /l

