

UNIVERSITE D'ANTANANARIVO
FACULTE DES SCIENCES
Département de Chimie Minérale et Chimie Physique

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX



MEMOIRE POUR L'OBTENTION
DU DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES (DEA)

Option : Chimie de l'Environnement

**CARACTERISTIQUES DES EAUX DE MARAIS DANS
LA COMMUNE URBAINE D'ANTANANARIVO**

Présenté par
ANDRIANARISON Tsirilalaina Rado

Président du jury : Dr Pax RAJAONERA
Professeur Titulaire

Examineurs : Dr Jean Dominique ANDRIAMIZAKA
Professeur Titulaire

Dr Josette RAKOTONDRAIBE
Professeur Titulaire

Novembre 2007

REMERCIEMENTS

Arrivé au terme de cette étude, je tiens à remercier :

☞ Le *seigneur Dieu Tout puissant*, le Savant des savants, le créateur de toute matière, a lui seul la gloire et l'honneur à jamais.

☞ Le *Docteur Pax RAJAONERA*, professeur titulaire, responsable de la formation doctorale en Chimie Minérale. Malgré vos nombreuses occupations, vous nous avez fait l'honneur de présider le jury de notre mémoire. Nous vous prions de trouver ici l'expression de notre profonde reconnaissance et nos sincères remerciements.

☞ Le *Docteur Jean Dominique ANDRIAMIZAKA*, professeur titulaire, responsable de la formation doctorale en Chimie Organique. Malgré vos multiples responsabilités, vous avez accepté avec amabilité de siéger parmi les membres de jury de ce mémoire. Nous vous adressons notre sincère et profonde gratitude.

☞ Le *Docteur Josette RAKOTONDRAIBE*, professeur titulaire, responsable de la formation doctorale en Chimie de l'Environnement. Vous nous avez accueilli avec bienveillance, vous nous avez donné des conseils judicieux et une aide inestimable dans l'encadrement de ce mémoire. Je voudrais vous exprimer aussi ma gratitude pour les longues et précieuses heures qu'elle m'a consacré.

Veillez acceptez madame notre profond respect et nos sincères remerciements.

☞ Toute *ma famille*, pour leurs soutiens dans tous les sens. Votre entourage me fait du bien.

☞ Et enfin, aux *amis* et à *tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'élaboration de ce travail*, pour leur fraternité et leur aide inestimable.

A vous tous, MERCI !

Que Dieu le tout Puissant vous bénisse !

SOMMAIRE

- ✓ LISTE DES TABLEAUX
- ✓ LISTE DES ABREVIATIONS
- ✓ LISTE DES CARTES
- ✓ LISTE DES GRAPHES
- ✓ GLOSSAIRE
- ✓ INTRODUCTION

Partie I : INFORMATIONS GENERALES

Chap. I : GENERALITES SUR LA POLLUTION DE L'EAU

I -1- Définitions	1
I -2- Types de pollution	1
I -3- Sources de pollutions	3
I -4- Comportement et effets des eaux polluées sur le milieu naturel	4
I -5- Evaluation de la pollution	5

Chap. II : LES EAUX D'IRRIGATION

II -1- La réutilisation de l'eau	7
II -2- La qualité des eaux d'irrigation	8
II -3- Normes et réglementation	21
II -4- Conclusion partielle	27

Partie II : NOS INVESTIGATIONS

Chap. I : Présentation des sites

I -1- Choix des sites	28
I -2- Description des sites	28

Chap. II : Etude qualitative des eaux usées

II -1- Les enquêtes menées auprès des agriculteurs	30
II -2- Les analyses	35

II -2-1- Analyse physico-chimique des eaux usées de chaque site	35
II -2-2- Analyse des eaux usées dans les canaux d'irrigation : depuis Ambodirotra jusqu'au marais Masay	45
II-3- Classification des eaux usées par le calcul des charges polluantes	51
✓ RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	55
✓ CONCLUSION ET RESUME	59
✓ PARTIE EXPERIMENTALE	
✓ BIBLIOGRAPHIE	
✓ ANNEXES	

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 1</u> : Définition des différents types de pollution.....	2
<u>Tableau 2</u> : Origine, constituants, caractéristiques des eaux usées domestiques.....	3
<u>Tableau 3</u> : La conductivité électrique avec leur signification agronomique.....	10
<u>Tableau 4</u> : Quelques valeurs de la concentration en sels, risque et restriction d'utilisation.....	11
<u>Tableau 5</u> : Relation entre la salinité et la conductivité électrique d'une eau d'irrigation .	11
<u>Tableau 6</u> : Classification des eaux d'après leur conductivités électriques	13
<u>Tableau 7</u> : Classification des eaux d'après leur Sodium Absorption Ratio.....	14
<u>Tableau 8</u> : Rôles des nutriments sur les plantes.....	17
<u>Tableau 9</u> : Impacts de quelques éléments sur l'environnement et sur la santé.	18
<u>Tableau 10</u> : Niveaux de toxicité pour des ions spécifiques.....	21
<u>Tableau 11</u> : Classification des eaux de surface	23
<u>Tableau 12</u> : Règlementation relative aux effluents liquides	24
<u>Tableau 13</u> : Directive pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation.....	25
<u>Tableau 14</u> : Limites recommandées pour les éléments traces dans les eaux usées destinées à l'irrigation	26
<u>Tableau 15</u> : Résultats des enquêtes effectuées auprès des agriculteurs	30
<u>Tableau 16</u> : Les paramètres analysés pour les eaux usées	36
<u>Tableau 17</u> : les méthodes d'analyse utilisées.....	37
<u>Tableau 18</u> : Résultats des analyses au laboratoire	38
<u>Tableau 19</u> : Valeur des rapports DBO/DCO dans les zones d'études.....	40
<u>Tableau 20</u> : Conductivité et Taux de Salinité des eaux usées de chaque site.	41
<u>Tableau 21</u> : Calculs des Sodium Absorption Ratio des eaux usées dans les zones d'études.	44
<u>Tableau 22</u> : Résultats des analyses des eaux usées dans les canaux d'irrigation : depuis Ambodirotra jusqu'au marais Masay.....	47
<u>Tableau 23</u> : Valeur des charges polluantes dans les trois zones d'études	52

LISTE DES ABREVIATIONS

↖	CE	: <i>Conductivité Electrique</i>
↖	CUA	: <i>Commune Urbaine d'Antananarivo</i>
↖	DBO	: <i>Demande Biochimique en Oxygène</i>
↖	DCO	: <i>Demande Chimique en Oxygène</i>
↖	FAO	: <i>Food and Agriculture Organization</i>
↖	MES	: <i>Matière en suspension</i>
↖	OD	: <i>Oxygène Dissous</i>
↖	OMS	: <i>Organisation Mondiale de la Santé</i>
↖	pH	: <i>potentiel d'Hydrogène</i>
↖	SAR	: <i>Sodium Absorption Ratio</i>
↖	TDS	: <i>Taux de Salinité</i>

LISTE DES CARTES

- **Carte 1** : *La commune urbaine d'Antananarivo et les zones d'études*
- **Carte 2** : *ZONE I (AMBODIROTRA – ANTSAKAVIRO)*
- **Carte 3** : *ZONE II (ANJANAHARY II N)*
- **Carte 4** : *ZONE III (ANDRAVOAHANGY TSENA)*
- **Carte 5** : *Les zones d'études et les rues qui les entourent*
- **Carte 6** : *Les trois zones d'études et les canaux*
- **Carte 7** : *Les points de prélèvement des eaux dans les trois zones d'études*
- **Carte 8** : *Les points de prélèvement des eaux dans les canaux : d'Ambodirotra au marais Masay*



LISTE DES GRAPHES

<u>Graphique 1</u>	: DBO et DCO des eaux de la zone I.....	39
<u>Graphique 2</u>	: DBO et DCO des eaux de la zone II	39
<u>Graphique 3</u>	: DBO et DCO des eaux de la zone III.....	39
<u>Graphique 4</u>	: Conductivité et TDS des eaux de la zone I.....	40
<u>Graphique 5</u>	: Conductivité et TDS des eaux de la zone II.....	40
<u>Graphique 6</u>	: Conductivité et TDS des eaux de la zone III.....	41
<u>Graphique 7</u>	: Nutriments dans les eaux de la zone I.....	42
<u>Graphique 8</u>	: Nutriments dans les eaux de la zone II.....	42
<u>Graphique 9</u>	: Nutriments dans les eaux de la zone III.....	42
<u>Graphique 10</u>	: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} dans les eaux de la zone I.....	43
<u>Graphique 11</u>	: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} dans les eaux de la zone II.....	43
<u>Graphique 12</u>	: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} dans les eaux de la zone III.....	43
<u>Graphique 13</u>	: SO_4^{2-} , Cl^{-} dans les eaux de la zone I.....	44
<u>Graphique 14</u>	: SO_4^{2-} , Cl^{-} dans les eaux de la zone II.....	44
<u>Graphique 15</u>	: SO_4^{2-} , Cl^{-} dans les eaux de la zone III.....	45
<u>Graphique 16</u>	: Evolution de la conductivité des eaux usées des canaux d'Ambodirotra au marais Masay	48
<u>Graphique 17</u>	: Les charges en DBO des effluents domestiques dans les zones d'étude.....	53
<u>Graphique 18</u>	: Les charges en MES des effluents domestiques dans les zones d'étude.....	53
<u>Graphique 19</u>	: Les charges en Azote des effluents domestiques dans les zones d'étude....	53
<u>Graphique 20</u>	: Les charges en Phosphate des effluents domestiques dans les zones d'étude	53

GLOSSAIRE

Absorption

L'absorption est la rétention d'un composé à l'intérieur d'un solide.

Adsorption

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

Aérobie

Désigne un être vivant et/ou un processus écologique exigeant la présence d'oxygène afin de produire l'énergie qui est nécessaire à son métabolisme.

Aérobiose

Conditions d'un milieu riche en oxygène (ou en air) qui permettent une dégradation de la matière organique dégageant du gaz carbonique et de l'eau ; le résultat de cette dégradation est la production de compost.

Anaérobie

Les micro-organismes anaérobies peuvent se développer dans un environnement dépourvu d'oxygène.

Anaérobiose

Conditions d'un milieu privé d'oxygène (ou sans air) qui permettent une dégradation de la matière organique dégageant un mélange de gaz appelé biogaz composé principalement de méthane, et produisant un résidu organique, le digestat.

Assainissement

L'assainissement consiste à collecter et traiter (épuration) les eaux usées avant leur rejet dans les rivières ou dans le sol. Afin d'assainir des eaux usées, on peut combiner des traitements physico-chimiques et biologiques.

Bactérie

Organisme vivant microscopique formé d'une seule cellule individualisée et apte à se reproduire.

Biodégradable

Un produit est dit biodégradable si, une fois consommé, il peut être décomposé par des organismes vivants.

La biodégradation se traduit par une simplification progressive de la structure chimique d'un composé organique de formule $C_x H_y O_z N_t P_u$ avec la minéralisation du carbone (sous forme de dioxyde de carbone) et l'obtention de métabolites de faible poids moléculaire, disponible alors pour la synthèse des constituants cellulaires.

Intérêt et signification : La biodégradabilité est un des paramètres importants pour caractériser l'impact d'un produit organique sur l'environnement. Elle est liée à l'aptitude et à la vitesse de disparition du produit en milieu biologique naturel.

Colloïdes

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

Décantation

Procédé de séparation par gravité des matières solides sédimentables : élimination de solides en suspension de densité supérieure à celle de l'eau par l'action exclusive de la force de la gravité.

Dureté

La dureté d'une eau est déterminée par la présence d'ions calcium et magnésium. Lorsque ces deux ions sont présents en forte concentration, l'eau est dite dure.

Dans le cas contraire, elle est dite douce. Lorsqu'une eau dure est chauffée, on observe un précipité appelé tartre. L'unité utilisée pour la dureté de l'eau est le degré français (titre hydrotimétrique).

Eutrophisation

Apport en excès de substances nutritives (nitrates et phosphates) dans un milieu aquatique pouvant entraîner la prolifération des végétaux aquatiques (fleur d'eau). Ces végétaux aquatiques sont de gros consommateurs d'oxygène, ils asphyxient les autres formes de vie aquatique.

Filtration

La filtration est un procédé physique permettant de séparer les substances solides dans un liquide. La filtration se fait à travers des substances poreuses, calibrées pour ne retenir que les particules d'une certaine taille.

Minéralisation

Processus de transformation de certains éléments (azote, soufre,...) en substances minérales dissoutes (nitrates, sulfates,...) au cours d'un traitement chimique en vue d'une analyse ou d'une épuration des eaux résiduaires.

Nuisance

Toute conséquence de l'activité humaine entraînant un risque notable pour la santé et le bien être de l'homme par des répercussions sur un patrimoine naturel, culturel, économique.

Risque

C'est la probabilité d'apparition d'effet toxique après l'exposition des organismes à un objet dangereux.

INTRODUCTION

Antananarivo est une ville tropicale d'altitude. Les eaux de pluies entraînent les eaux usées domestiques des hauts quartiers de la ville, se déversent dans les marais situés dans les bas-fonds. Les marais abritent le plus souvent des cressonnières et parfois des rizières. Les eaux d'irrigation sont donc des eaux usées qui n'ont subi aucun traitement.

Malgré la pollution des eaux, les produits sont encore mis en vente, en grande quantité, sur les marchés de la capitale et des provinces. Ils sont de plus très appréciés par les consommateurs.

Pour ces raisons, il était intéressant d'étudier la qualité des eaux de marais dans la Commune Urbaine d'Antananarivo. Nous avons étudié trois zones : Ambodirotra - Antsakaviro, Anjanahary - Mahavoky et Andravoahangy tsena. Ce sont des périmètres agricoles irrigués par des eaux usées brutes.

Deux questions se posent : qu'en est-il de la qualité physico-chimique de ces eaux usées ? Sont-elles aptes à être réutilisées pour l'irrigation ?

Dans cette étude, nous avons été amenés d'une part à déterminer la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation de quelques sites de la Commune Urbaine d'Antananarivo et à comparer leur degré de pollution, d'autre part à déterminer si ces eaux obéissent aux normes internationales pour irriguer des produits destinés à la consommation humaine.

Des enquêtes menées auprès des cressiculteurs et des observations sur sites conduiront à l'identification des sources de pollution.

Des prélèvements d'échantillons, des analyses physico-chimiques sur terrain et en laboratoire permettront de déterminer le degré de pollution et la classe des eaux des marais.

Les conclusions tirées des résultats d'analyses seront vérifiées par le calcul des charges polluantes.

Dans la première partie de notre étude, nous exposerons les généralités sur la pollution de l'eau et les eaux d'irrigation. Dans la deuxième partie, nous présenterons les sites d'études et l'étude qualitative des eaux usées.

A decorative border of stylized flowers and leaves in shades of blue, purple, and green surrounds the central text area.

PARTIE I

Informations Générales

Chapitre I

GENERALITES SUR LA POLLUTION DE L'EAU





I -1- Définitions

I -1-1- La pollution :

La pollution c'est toute modification d'origine anthropique affectant le taux et / ou les critères de répartition dans la biosphère, d'une substance naturelle propre à tel ou tel milieu.

I -1-2- La pollution de l'eau :

Un séminaire d'experts européens réunis à Genève en mars 1961 a ainsi explicité cette notion :

« Un cours d'eau est considéré comme pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont, directement ou indirectement, modifiés du fait de l'action de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir à leur état naturel, ou à certaines d'entre elles. »

I -2- Types de pollution

On distingue la pollution organique, la pollution chimique, la pollution thermique, la pollution mécanique et la pollution microbienne. Essayons de les définir dans le tableau ci-après.



Tableau 1 : Définitions des différents types de pollution.

TYPES DE POLLUTION	DEFINITIONS [8]
Pollution organique	Pollution créée essentiellement par les déversements des égouts urbains ou des égouts particuliers raccordés directement au milieu récepteur
Pollution mécanique (physique)	Pollution résultant de la présence des particules ou des déchets capables de colmater le lit d'un cours d'eau. (eaux provenant des mines, des tanneries).
Pollution thermique	Pollution due au déversement d'effluents industriels qui augmentent la température des rivières, des lacs à un niveau tel qu'il en résulte des effets néfastes du point de vue biologique.
Pollution microbienne	Présence de microbes pathogènes dangereux surtout lorsqu'ils se multiplient.
Pollution chimique	Pollution créée généralement par les déversements des établissements industriels. Ils sont plus ou moins nocifs selon la nature et les concentrations des substances dissoutes dans l'eau.

I -3- Sources de pollution

La pollution des eaux provient des polluants rejetés dans le milieu naturel. Les eaux usées comprennent les effluents urbains, les effluents agricoles, et les pollutions naturelles. [9]

I -3-1- Les effluents urbains

Les effluents urbains comprennent :

- *les eaux usées domestiques* provenant des eaux ménagères et des eaux vannes.

Leur origine, leurs constituants et leurs caractéristiques sont décrits dans le tableau 2.

Tableau 2 : Origine, constituants, caractéristiques des eaux usées domestiques.

	ORIGINE	CONSTITUANTS	CARACTERISTIQUE
Eaux ménagères	Eaux de cuisine, eaux de salle de bain, eaux de lavage des sols, des linges...	matières en suspension, matières dissoutes organiques ou minérales	Renferment des graisses par l'apport de savon et de divers détergents utilisés
Eaux vannes	W.C	Urines et matières fécales diluées avec l'eau de chasse	L'urine apporte les ions Cl^- , Na^+ , K^+ , les matières organiques comme l'acide urique, l'urée...

- *les eaux usées industrielles* provenant de diverses industries.

La première caractéristique des rejets industriels est la diversité : au sein d'une même branche, il existe des différences profondes liées aux matières premières, aux produits chimiques utilisés, et aux effluents.

Il n'est donc pas possible de donner un profil type d'eaux usées industrielles.



- *les effluents d'une installation à caractère collectif (casernes, hôpitaux,...)* : les eaux des bornes fontaines publiques, les eaux ayant servi au lavage des rues.

I -3-2- Les effluents agricoles :

Ce sont les eaux provenant des agricultures. Elles sont polluées par les engrais et les pesticides. Elles sont à l'origine des pollutions diffuses.

Les engrais sont particulièrement riches en azote, l'excès peut passer dans les eaux souterraines et dans les eaux de surface. L'augmentation de la teneur en nitrates dans les eaux est actuellement un problème préoccupant du point de vue écologique.

Les organochlorés sont presque toujours plus rémanents que les organophosphorés.

I -3-3- Les pollutions naturelles

Les eaux de pluie qui sont initialement douces et exemptes d'impureté. Elles se chargent de produits plus ou moins polluants sur leur parcours. A vrai dire, ce sont les polluants atmosphériques entraînés par les eaux de pluie qui ruissellent sur le sol puis s'infiltrent dans les eaux souterraines.

La pluie contient des gaz dissous, des matières en solution, des produits nocifs, des bactéries, des produits minéraux et organiques, des huiles et graisses, des déchets ménager.

I -4- Comportement et effets des eaux polluées après leur rejet dans le milieu naturel

Quand les eaux usées ne sont pas épurées avant leurs rejets dans le milieu naturel, l'altération de ce dernier et les déséquilibres qui s'y produisent ont non seulement des effets immédiats sur les utilisations de l'eau mais aussi des effets à long terme, parfois irréversibles pour la vie humaine.

Les différentes formes de pollution peuvent être accompagnées par des phénomènes de nuisances telles que : [1]

- ✓ La diminution du taux de l'oxygène dissous, paramètre majeur pour la vie des poissons et des organismes résidant dans l'eau.
- ✓ La présence de produit toxique ayant des effets immédiats ou à long terme.



- ✓ La prolifération d'algues due aux concentrations élevées en nutriments N et P, causant le phénomène d'eutrophisation.
- ✓ La modification physique du milieu (forte turbidité, taux de salinité élevé, hausse de la température).
- ✓ La présence des bactéries et d'autres germes pathogènes.

I -5- Evaluation de la pollution

Généralement, quelques paramètres doivent être surveillés afin d'évaluer le degré de la pollution des eaux usées :

Les paramètres qui permettent de déterminer la qualité des eaux usées sont : le pH, la conductivité électrique (C.E), le taux e sel dissous (T.D.S), et l'oxygène dissous (O.D).

Les paramètres globaux indicateurs de pollution tels que : la Demande Biochimique en Oxygène en 5 jours et à 20°C (D.B.O₅), la Demande Chimique en Oxygène (D.C.O), et les Matières En Suspension (M.E.S), permettent d'évaluer la charge polluante.

I -5-1- Le pH

Le pH (potentiel hydrogène) est l'une des caractéristiques fondamentales de l'eau. Il est représentatif de la concentration en ions H⁺ dans l'eau. La valeur du pH est à prendre en considération lors de la majorité des opérations de traitement de l'eau.

I -5-2 - Conductivité

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

I -5-3 - DCO

La DCO représente la quantité de dioxygène nécessaire à l'oxydation de l'ensemble des matières organiques et minérales contenues dans l'eau, par oxydo-réduction. Cette donnée est représentative de la pollution organique et chimique.



I -5-4 – DBO

La DBO représente le besoin en dioxygène d'une eau pour assurer la dégradation biochimique des matières organiques. Une DBO trop élevée peut aboutir à une désoxygénation de l'eau.

Le rapport DBO / DCO permet de connaître de dominance organique ou minérale de l'eau. On pourra également en déduire la biodégradabilité des polluants, et déterminer les modes de traitement adéquat.

- Si le rapport $D.B.O_5 / D.C.O$ est inférieur à 0,2, l'eau est à dominance inorganique. Elle est difficilement biodégradable. Des traitements physico-chimiques sont souhaitables.
- Si le rapport $D.B.O_5 / D.C.O$ est compris entre 0,2 et 0,4, les polluants sont moyennement biodégradables.
- Si le rapport $D.B.O_5 / D.C.O$ est supérieur à 0,4, l'eau est à dominance organique. Les polluants sont biodégradables.

La détermination des paramètres spécifiques indicateurs de toxicité comme les métaux lourds est aussi importante.

Les paramètres organoleptiques (aspect, couleur et odeur) permettent également d'apprécier la pollution de l'eau.

Pour conclure ce premier chapitre, on peut dire que les déversements polluants peuvent modifier les composantes physico- chimiques des milieux aquatiques récepteurs ainsi que les biocénoses qui peuplent ces milieux. On peut alors définir la pollution de l'eau comme étant la dégradation de sa qualité physico-chimique due aux actions humaines. En effet, il existe plusieurs types de pollution, tous différents, en fonction de leur origine. La biodégradabilité de certains polluants que contient l'eau dépend de leur nature, organique ou minérale. En outre, des analyses au laboratoire sont à effectuer pour évaluer le degré de pollution des eaux.

Le chapitre suivant portera sur l'appréciation de la qualité des eaux d'irrigation.

Chapitre II

LES EAUX D'IRRIGATION



II -1- LA REUTILISATION DE L'EAU

II -1-1- La réutilisation des eaux usées dans le monde

La réutilisation des eaux pour l'irrigation est une pratique normale dans le monde entier. Dans certains pays, la réutilisation en agriculture est entièrement intégrée dans la politique nationale comme un facteur de développement.

A Clermont-Ferrand en France, depuis 1997, plus de 10.000m³ par jour d'eaux usagées urbaines traitées sont réutilisées pour l'irrigation de 700 ha de maïs.

Aux Etats-Unis, dans trente quatre Etats, l'usage agricole des eaux usées est recommandée et réglementée.

En Italie, plus de 4000 ha de champs sont irrigués avec de l'eau réutilisée.

Pour ces différents pays sus-cités, les eaux usées sont traitées convenablement avant leur réutilisation car la qualité des eaux d'irrigation est essentielle pour le rendement et la qualité des récoltes, pour l'entretien de la productivité des sols et pour la protection de l'environnement. A titre d'exemple, les propriétés physiques et mécaniques du sol, en particulier sa structure (stabilité des agrégats) et sa perméabilité, sont très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans les eaux d'irrigation.

II -1-2 - La réutilisation des eaux usées à Madagascar

A Madagascar, les eaux usées, non traitées, n'ayant pas une qualité convenable sont utilisées pour irriguer certaines surfaces cultivables. Ainsi, elles pourront d'une part, endommager la qualité et la quantité des récoltes et d'autre part, aggraver la santé publique.

Dans le cas de la Commune Urbaine d'Antananarivo, les périmètres agricoles sont localisés dans les bas-fonds, dans les vallées qui sont à la fois des zones à vocation agricole et des collecteurs primaires d'eaux usées. Les cultures y sont irriguées par des eaux usées domestiques brutes des quartiers environnants. Les contraintes sanitaires et environnementales sont méconnues.



Il s'avère donc nécessaire d'effectuer des analyses pour contrôler la qualité de ces eaux avant de les réutiliser et d'envisager les traitements nécessaires pour que ces eaux soient aptes pour l'irrigation.

II -2- LA QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION

Une analyse chimique en laboratoire des eaux usées à réutiliser pour l'irrigation est impérative pour le respect de la santé publique.

Les paramètres à analyser sont : [7]

- les M.E.S et la turbidité
- le DBO, DCO et les matières organiques
- la salinité
- le Sodicité (Degré d'Adsorption du Sodium ou SAR)
- les carbonates et bicarbonates de Calcium et de Magnésium.
- les éléments traces ou oligoéléments
- les substances nutritives
- les ions phytotoxiques tels que le chlorure et le sodium.

II -2- 1 - M.E.S et turbidité

Les Matières En Suspension (M.E.S) caractérisent la pollution microscopique. La taille des particules est de quelques millimètres à quelques dixièmes de millimètres. La plupart des eaux résiduaires sont chargées en MES minérales ou organiques (carrières, sablières, cimenteries, mine de charbon, papeteries, égouts urbains...). Ces particules, suivant leur densité et les caractéristiques du milieu récepteur, se déposent plus ou moins loin en aval du rejet, produisant une pollution mécanique augmentant la turbidité des eaux.



Ainsi, les MES contribuent au déséquilibre du milieu aquatique et peuvent avoir un effet néfaste direct sur la vie de la faune et de la flore.

La turbidité se traduit par la présence des particules en suspension ou des matières colloïdales dans l'eau. Elle s'exprime en *N.T.U* ou *Nephelometrie Turbidity Unit*.

Lorsque la turbidité est *inférieure à 5 NTU*, l'eau est claire. Lorsqu'elle est *comprise entre 5 et 50 NTU*, l'eau est légèrement trouble. Lorsqu'elle est *supérieure à 50 NTU*, l'eau est trouble.

II -2- 2- DBO, DCO et MO

II -2-2-1 Les matières organiques (MO)

De très nombreuses eaux résiduaires renferment des matières organiques solides, dissoutes ou colloïdales. Elles sont décomposées par des micro-organismes présents dans l'eau. Une partie de ces matières organiques se déposera. La décomposition biologique peut entraîner la disparition de l'oxygène dissous dans l'eau.

En milieu aérobie, les matières organiques sont plus ou moins minéralisées. Les produits finaux sont l'eau, le gaz carbonique, les nitrates, les phosphates,...

En milieu anaérobie, la décomposition conduit au méthane, à l'ammoniac, à l'hydrogène sulfuré,... ; certains d'entre eux, malodorants, corrosifs, toxiques..., sont sources de nuisances.

L'ensemble des processus par lesquels le milieu aquatique assure la minéralisation des substances organiques déversées constitue « *l'auto-épuration* ».

II -2-2-2 DBO et DCO

La DBO et la DCO sont deux moyens d'apprécier la teneur en matière organique oxydable dans l'eau. La dégradation de ces matières dans le milieu naturel s'accompagne d'une consommation d'oxygène et peut entraîner un abaissement excessif de la concentration en oxygène dissous.

Le rapport DCO / DBO inférieur ou égale à 2,5, une DCO inférieur ou égale à 750 mg/l signifient effluent urbaine à dominant domestique. Le rapport D.B.O₅ / D.C.O permet de



connaître la dominance organique ou minérale de l'eau. On pourra également en déduire la biodégradabilité des polluants, et déterminer les modes de traitements adéquats.

II -2-3 - Salinité

La salinité constitue le principal critère d'évaluation de la qualité d'une eau d'irrigation.

La salinité globale d'une eau est sa concentration totale en sels solubles. Elle est évaluée par la mesure de la conductivité électrique (CE).

Quelques valeurs de la conductivité électrique avec leur signification agronomique sont données dans le tableau 4.

Tableau 3 : La conductivité électrique avec leur signification agronomique.

Conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Signification agronomique
$\text{CE} < 700$	Peu de culture est affectée par la salinité
$700 < \text{CE} < 1000$	Possibilité de maintenir des rendements acceptables avec des pratiques culturales adéquates, par exemple la décalcification (lessivage des calciums)

✓ Risque de salinité :

Le risque de salinité dépend de la concentration en sels de l'eau car, plus la concentration en sels est élevée, plus les risques de salinité augmentent.

Le tableau ci-après nous montre quelques valeurs de concentration en sels et le risque correspondant ainsi que la restriction dans leur utilisation.

**Tableau 4 : Quelques valeurs de la concentration en sels, risque et restriction d'utilisation [5]**

Concentration en sels (mg/l)	Risque de salinité	Restriction dans leur utilisation
Moins de 500 mg/l	Aucun risque	Aucune restriction dans son utilisation
500 – 2000 mg/l	Risque léger	L'eau devra être utilisée avec des pratiques de gestion des eaux appropriées, c'est-à-dire bien maîtrisé l'utilisation des eaux
Plus de 2000 mg/l	Risque élevé	Utilisation déconseillée sans l'avis d'un spécialiste.

Le tableau 5 montre les relations entre la salinité et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation.

Tableau 5 : Relation entre la salinité et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation.

CONDUCTIVITE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SALINITE
$\text{CE} < 250$	Eaux non salines
$250 < \text{CE} < 750$	Eaux à salinité moyenne
$750 < \text{CE} < 2250$	Eaux à forte salinité
$2250 < \text{CE} < 5000$	Eaux à très forte salinité
$5000 < \text{CE} < 20000$	Eaux à salinité excessive

II -2-4 - Sodicité

Pour maintenir les conditions d'infiltrations adéquates dans les sols irrigués, il faut veiller à empêcher les complexes d'échange du sol de se charger en sodium.

On exprime le danger de sodicité d'une eau d'irrigation par le SAR (Sodium Absorption Ratio = coefficient d'absorption du sodium) donnée par la relation :



$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2]^{1/2}$$

Le sodium échangeable influe sur les propriétés chimiques et physiques des sols. Au fur et à mesure que la teneur en sodium échangeable augmente, les éléments constitutifs du sol ont tendance à se disperser. Le sol devient moins perméable à l'eau et ne se prête plus aux pratiques culturales. L'eau d'irrigation stagne alors à la surface du sol et n'atteint plus les racines des plantes.

La **vitesse d'infiltration** croît généralement avec une salinité croissante, décroît lorsque la salinité décroît ou que la teneur en **sodium** augmente par rapport à la teneur en **calcium** ou **magnésium**. Par conséquent, les deux facteurs, salinité et SAR doivent être considérés ensemble pour évaluer l'effet de l'eau d'irrigation sur la vitesse d'infiltration dans le sol.

Ainsi, en fonction de ces deux facteurs, on peut classer les eaux d'irrigation en quatre classes.

Tableau 6 : Classification des eaux d'après leur conductivité électrique [10]



CONDUCTIVITE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	CLASSES
$\text{CE} < 250$	C₁ : Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des sols. Léger lessivage nécessaire, mais il se produit en irrigation normale sauf en sol très peu perméable
$250 < \text{CE} < 750$	C₂ : Eaux utilisables avec léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser.
$750 < \text{CE} < 2250$	C₃ : Eaux utilisables pour les sols à drainage restreint, plantes ayant une bonne tolérance aux sels.
$\text{CE} > 2250$	C₄ : Peuvent être utilisées exceptionnellement sur des sols très perméables avec un bon drainage. L'eau sera utilisée en excès pour provoquer un fort lessivage du sol.

Tableau 7 : Classifications des eaux d'après leurs SAR.

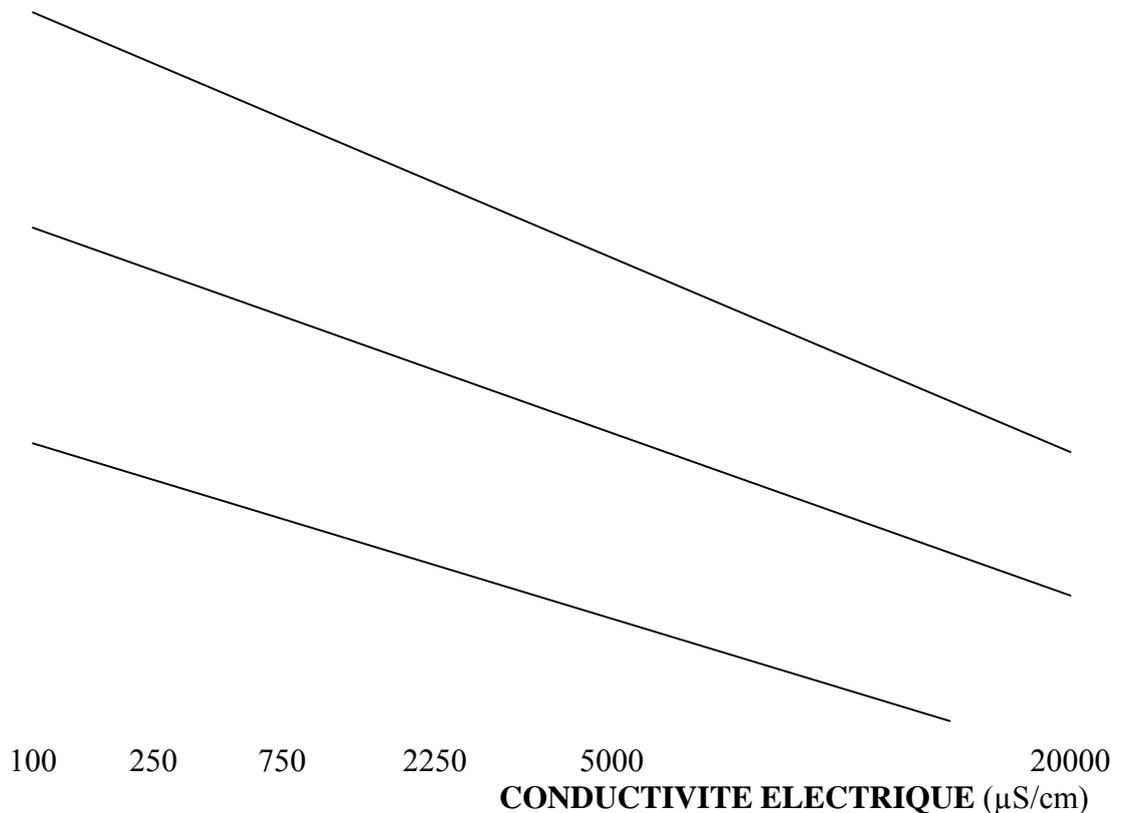


SAR (mg/l)	CLASSES
0 < SAR < 10	S₁ : Peu de danger d'alcalinisation
10 < SAR < 18	S₂ : Danger d'alcalinisation appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange surtout dans des conditions de faible lessivage. Eaux inutilisables sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité.
18 < SAR < 26	S₃ : Eaux nécessitant un aménagement spécial : bon drainage, fort lessivage, addition de matière organique.
SAR > 26	S₄ : Danger d'alcalinisation fort. De telles eaux sont utilisables pour l'irrigation si, leur faible salinité permet l'addition de calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment

D'après les données des tableaux 6 et 7, on peut construire un diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux d'irrigation en fonction de la conductivité et du SAR.

✓ Diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux d'irrigation en fonction de la conductivité et du SAR.

SAR 30	C1-S4	C2 - S4	C3 - S4	C4 - S4	
28					
26					
24					



II -2-5- Les éléments-traces ou oligo-éléments

Les oligo-éléments sont des éléments chimiques, habituellement en faible quantité, exigés pour la croissance, le développement et la physiologie des plantes et des animaux. Les oligo-éléments sont : le *bore*, le *fer*, la *manganèse*, le *zinc*, le *cuivre*.

Les eaux usées apportent ces éléments, mais aussi d'autres éléments-traces non indispensables à la plante comme le *plomb*, le *mercure*, le *chrome*, le *sélénium*.

La plupart des eaux d'irrigation et des eaux d'égoûts contiennent des oligo-éléments en faible quantité qui ne pose aucun risque pour l'irrigation.

Cependant, plus de 85% des oligo-éléments sont susceptibles de s'accumuler dans le sol, et peuvent s'infiltrer, selon la perméabilité du sol, et contaminer les eaux souterraines.

La limite de toxicité des oligo-éléments dépend du type de plante. Elle dépend également du type de sol. Un élément apporté au sol par l'irrigation peut être inactivé par des réactions chimiques ou peut s'accumuler dans le sol jusqu'à atteindre un niveau toxique. De plus, certaines structures du sol peuvent maintenir ces éléments en les rendant agressifs aux



racines.

Le système d'irrigation peut également affecter l'absorption des éléments toxiques pour les plantes. Par exemple, l'irrigation par arrosage peut favoriser l'absorption des éléments toxiques par les feuilles.

II -2-6- Les substances nutritives

Comme tout organisme vivant, les plantes ont leurs propres nutriments essentiels pour leur croissance. Les eaux usées urbaines contiennent beaucoup des macronutriments (N, P, K, Ca, Mg et S) et des micronutriments (Fe, Mn, B, Cu, Zn et Si) sous forme soluble directement disponibles pour les plantes. Cependant, une concentration élevée de ces nutriments peut être toxique.

Les concentrations nutritives des eaux d'irrigation doivent être prises en considération pour les producteurs dans leur programme de fertilisation.

La connaissance des apports nutritifs de ces eaux est importante pour pouvoir connaître les aliments supplémentaires à fournir afin d'assurer un bon développement des cultures. Les producteurs peuvent diminuer ses dépenses tout en assurant une bonne récolte.

Les tableaux 8 et 9 rapportent les rôles des nutriments sur les plantes, leurs impacts sur l'environnement et sur la santé.

Tableau 8 : Les rôles des nutriments sur les plantes [2]

	ELEMENTS	ROLES
--	----------	-------



MACRONUTRIMENTS	N	Stimule la croissance des parties vertes des plantes (Feuilles, tiges)
	P	Intervient dans la solidité de la plante et sur le développement des racines. Régularise la floraison et hâte la maturation des fruits.
	K	Contribue à l'épanouissement des fleurs. La saveur et la couleur des fruits lui sont directement liées.
	Ca	Forme le squelette de la plante en assurant la rigidité des cellules.
	Mg	Favorise la formation des fruits. C'est l'un des constituants des graines, des tubercules et de la chlorophylle.
	S	Joue un rôle primordial dans la synthèse des protéines. C'est un activateur de la respiration.
Micronutriments	Fe, Mn, B, Zn, Cu	Bien qu'en très faible quantité, sont indispensables au bon équilibre et à la croissance de la plante.

Tableau 9 : Impacts de quelques éléments sur l'environnement et sur la santé [15]

ELEMENTS	SOURCES	Impacts sur la santé	Impact sur l'environnement
----------	---------	----------------------	----------------------------



			l'environnement
<p>Azote : Nitrites et Nitrates</p>	<p>- Cycles de l'azote dans l'eau et dans le sol - engrais - effluents industriels</p>	<p><u>Nitrite</u> : Réagit avec l'hémoglobine du sang en provoquant une diminution des capacités de transport de l'oxygène. <u>Nitrate</u> : inhibe le fonctionnement de la glande thyroïde. <u>Nitrates et nitrites</u> : produisent de nitrosamines, provoquent le cancer.</p>	<p>Changement de la composition de certaines espèces sensibles aux composés azotés.</p>
<p>Phosphore : sous forme de phosphate</p>	<p>Engrais, détergents, aliments</p>	<p>Elément important pour le corps humain en tant que composant de l'ADN, provoque l'ostéoporose et les maladies rénales.</p>	<p>Dans l'air, le phosphore réagit tout de suite avec l'oxygène pour être transformé en produits moins nocifs. Dans l'eau, il ne réagit pas aussi vite que dans l'air, il s'accumule dans le corps des organismes aquatiques. Il provoque le phénomène d'eutrophisation.</p>

Tableau9 : Impacts de quelques éléments sur l'environnement et sur la santé (Suite)

ELEMENTS	SOURCES	Impacts sur la santé	Impact sur l'environnement
----------	---------	----------------------	----------------------------



Potassium	Légumes, pomme de terre	<p>Accumulation de potassium, due au mauvais fonctionnement des reins, entraînant ainsi une perturbation des battements du cœur.</p> <p>L'inhalation de la poussière qui le contient peut irriter les yeux, le nez, la gorge, les poumons.</p> <p>L'exposition plus élevée à cette poussière peut causer une accumulation des liquides dans les poumons, ceci pouvant causer la mort.</p>	<p>Sa présence est de grande importance pour l'état du sol et pour la croissance des plantes. De ce fait, une quantité de potassium trop basse peut perturber la croissance des plantes et la réduction de la floraison, d'où abaissement des rendements.</p>
Calcium	Légumes	<p>Composant essentiel des os du corps humain. La consommation abusive peut conduire au développement de caillots rénaux, de scléroses rénales, et provoque des problèmes au niveau des vaisseaux sanguins.</p> <p>Le manque de calcium est une des principales causes de l'ostéoporose.</p>	<p>Le phosphate de calcium est nocif pour les organismes aquatiques.</p>

Tableau9 : Impacts de quelques éléments sur l'environnement et sur la santé (Suite)



ELEMENTS	SOURCES	Impacts sur la santé	Impact sur l'environnement
Magnésium	Dans les métaux, légumes	L'exposition à la poudre de magnésium peut irriter les yeux, la peau, les membranes, les muqueuses, la région respiratoire supérieure. L'exposition à la vapeur d'oxyde de magnésium suite à une brûlure, à la soudure ou au travail du métal fondu peut avoir comme conséquences les symptômes provisoires suivants : fièvre, nausée, vomissement.	La vapeur d'oxyde de magnésium peut provoquer les mêmes effets néfastes aux humains et aux mammifères qui l'inhalent.
Fer	Pomme de terre, légumes	Peut causer des conjonctivites, peut affecter la rétine. L'inhalation de concentration excessive d'oxyde de fer peut augmenter le risque de développement de cancer du poumon.	L'oxyde de fer peut asphyxier les organismes aquatiques

D'après ce tableau, on en déduit que certains éléments peuvent être nocifs tant pour notre santé que pour l'environnement. Il s'avère donc nécessaire de contrôler leur concentration dans l'environnement.

II -2-7 – Les ions phytotoxiques



Les ions toxiques les plus rencontrés dans les eaux d'égouts sont : le bore, les Chlorures, le Sodium.

Ces ions peuvent réduire les rendements agricoles. Le sodium et les chlorures sont habituellement absorbés par les racines. Lorsque l'absorption se fait par les feuilles le taux d'accumulation est plus grand. L'absorption directe se produit lorsque l'irrigation se fait par arrosage, lorsque l'humidité est faible et lorsque la température est élevée. [15]

Le tableau 10 montre les niveaux de toxicité des ions spécifiques.

Tableau 10 : Niveaux de toxicité pour des ions spécifiques [15]

Niveaux de toxicité pour des ions spécifiques (meq/l)			
	nul	léger à modéré	sévère
Bore	< 1	1 – 3	> 3
Chlore	< 4	4 – 10	> 10
Sodium	< 3	3 – 9	> 9

Le chlore et le sodium sont moins toxiques que le bore. Une teneur en chlore résiduel inférieure à 1 mg/l est sans danger pour le feuillage, mais une concentration supérieure à 5 mg/l serait hautement dommageable en provoquant la brûlure des feuilles.

Le bore peut être toxique même à de très faible concentration. Les effluents domestiques contenant du perborate en tant qu'agent de blanchiment est la principale source de perborate anthropogène.

II -3- NORMES ET REGLEMENTATION

Il n'y a pas de règlement commun pour la réutilisation d'eaux usées dans le monde. Ceci est dû à la diversité du climat, de la géologie et de la géographie, au type de sol et de culture, aux conditions économiques et sociales.

Quelques pays et organismes comme la Californie, l'OMS, la FAO, la France, l'Italie ont déjà établi des normes de réutilisation.



La plupart des pays en développement ont établi leurs propres normes en s'inspirant des normes existantes.

A Madagascar, il n'y a pas encore de texte qui réglemente la réutilisation des eaux usées en agriculture. Le décret N°2003 / 464 promulgué le 15 avril 2003 porte sur la classification des eaux de surfaces et réglementation des rejets d'effluents liquides.

Selon ce décret, il y a quatre types d'eau de surface :

- **Classe A** : eau de bonne qualité ; les multiples usages sont possibles ;
- **Classe B** : eau de qualité moyenne, possible pour le loisir, interdite pour la baignade;
- **Classe C** : eau de qualité médiocre, interdite pour la baignade ;
- **Hors classe** : la contamination est excessive, aucun usage n'est possible à part la navigation

En outre, c'est le paramètre le plus mauvais qui détermine la classe d'une eau donnée.

Tableau 11 : Classification des eaux de surfaces [12]



Paramètres	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE C	HORS CLASSE
FACTEURS BIOLOGIQUES				
OD (mg/l)	$OD \geq 5$	$3 < OD < 5$	$2 < OD \leq 3$	$OD < 2$
DBO (mg/l)	$DBO \leq 5$	$5 < DBO \leq 20$	$20 < DBO \leq 70$	$DBO > 70$
DCO (mg/l)	$DCO \leq 20$	$20 < DCO \leq 50$	$50 < DCO \leq 100$	$DCO > 100$
Présence de germes pathogènes	NON	NON	NON	OUI
FACTEURS ORGANIQUES ET PHYSIQUES				
Température (°C)	$T \leq 20$	$20 \leq T < 30$	$30 \leq T < 35$	$T > 35$
pH	$6,0 \leq pH \leq 8$	$5,5 < pH < 6,0$ ou $8,5 < pH < 9,5$	$pH \leq 5,5$ ou $pH \geq 9,5$	
MES (mg/l)	$MES < 30$	$30 \leq MES < 60$	$60 \leq MES < 100$	$MES > 100$
CE ($\mu\text{S/m}$)	$CE \leq 250$	$250 < CE \leq 500$	$500 < CE \leq 3000$	$CE > 3000$

Légende*OD* : Oxygène Dissous*DBO* : Demande Biochimique en Oxygène*DCO* : Demande Chimique en Oxygène*MES* : Matière En Suspension*CE* : Conductivité Electrique**Tableau 12 : Règlementation des rejets d'effluents liquides [12]**

**Légende****DCO** : Demande Chimique en Oxygène**MES** : Matière En Suspension

	Paramètres	UNITE	NORMES
FACTEURS ORGANIQUES ET PHYSIQUES	pH	-	6,0 – 9,0
	C.E	µs/cm	200
	MES	mg/l	60
	T°	°C	30
FACTEURS CHIMIQUES	Sulfate	mg/l	250
	Chlorure	mg/l	250
FACTEURS BIOLOGIQUES	DCO	mg/l	50
	DBO	mg/l	150

DBO : Demande Biochimique en Oxygène**CE** : Conductivité Electrique

Bien que ce décret fixe les normes auxquelles les effluents liquides devraient satisfaire avant tout rejet dans l'environnement, Madagascar doit envisager un projet de norme de qualité des eaux usées ou adopter des normes et directives pour leur réutilisation à l'irrigation, celle de la FAO par exemple. Nous avons rapporté dans les tableaux 12 et 13

**Tableau 13 : Directive pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation**

Problèmes potentiels en irrigation	Unités	Degré de restriction à l'usage		
		Aucun	Léger a modéré	Sévère
Salinité				
EC _w	dS/m	< 0,7	0,7 – 3,0	>3,0
TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltration				
SAR = 0-3 EC _w =		> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
3-6		> 1,7	1,2 – 0,3	< 0,3
6-12	dS/m	> 1,9	1,9 – 0,5	<0,5
12-20		> 2,9	2,9 – 1,3	<1,3
20-40		> 5,0	5,0 – 2,9	<2,9
Toxicité spécifique des ions				
• Sodium (Na ⁺)				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3 – 9	> 9
Irrigation par aspersion	meq/l	< 3	> 3	
• Chlorure (Cl ⁻)				
Irrigation de surface	meq/l	< 4	4 - 10	> 10
Irrigation par aspersion	meq/l	< 3	> 3	
• Bore (B)	mg/l	< 0,7	0,7 - 3,0	> 3,0
Effets divers				
Azote (NO ₃ – N)	mg/l	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	< 1,5	1,5 - 8,5	> 8,5
pH		Gamme normale 6,5 – 8,5		

Source : FAO, 1985

LégendeEC_w : conductivité électrique en deciSiemens par mètre à 25°C

SAR : taux d'absorption du Sodium (Sodium Absorption Ratio)

NO₃ – N : azote sous forme nitrate rapporté en terme d'azote élémentaire



Il faut également tenir compte des limites recommandées pour les éléments-traces métallique dans les eaux usées destinées à l'usage agricole.

Tableau 14 : Limites recommandées pour les éléments traces dans les eaux usées destinées à l'irrigation [6]

Eléments	Aluminium	Bore	Cuivre	Fer	Plomb	Manganèse	Zinc	Fluor
Utilisation à long terme (mg/l)	5,0	0,75	0,2	5,0	5,0	0,2	2,0	1,0

Ces niveaux n'endommagent ni les plantes, ni les sols.

Pour conclure ce deuxième chapitre, on reconnaît que la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation est très pratiquée partout dans le monde. C'est un facteur incontournable de développement pour les pays développés. Non seulement, ils adoptent des réglementations strictes pour l'usage agricole des eaux usées mais ils se conforment aux normes proposées par les organismes internationaux comme l'OMS et la FAO.

Les eaux usées traitées avant leur utilisation favorise l'entretien du sol et permet d'améliorer la productivité. Le traitement est à l'origine de récolte de bonne qualité avec un rendement élevé. Il protège l'environnement et la santé publique.

Pour les pays en développement, comme Madagascar, la réutilisation des eaux usées est une pratique courante. Cependant les agriculteurs les réutilisent telles qu'elles, sans aucun traitement. Les résultats agronomiques semblent très positifs car les eaux usées apportent des nutriments pour leurs cultures : ils n'utilisent des fertilisants que dans des cas très particuliers. Les contraintes sanitaires et environnementales sont encore méconnues.

On sait que des réglementations sont déjà promulguées par le Ministère de l'Environnement Malgache, mais leur suivi ou leur pratique ne sont pas encore concrétisées.

II -4- Conclusion partielle

En guise de conclusion pour cette première partie, on peut dire que la pollution des eaux est due aux déversements polluants, qui peuvent modifier profondément ses composantes physico-chimiques. La notion de pollution ne se réfère pas à la pureté des eaux, ni même à leur aptitude, mais aux modifications de leurs caractéristiques dues aux actions humaines.

Il y a plusieurs formes de pollution de l'eau : la pollution chimique, la pollution organique et la pollution minérale. Ces pollutions peuvent être évaluées à partir des analyses faites au laboratoire, sur des échantillons ayant été prélevés et conservés convenablement. On peut mieux connaître ainsi les polluants véhiculés par les eaux usées, et prévoir leur comportement et leur impact dans les milieux récepteurs.

En raison de l'insuffisance de l'eau et de la capacité d'apport nutritionnelle des eaux usées urbaines, ces dernières se présentent comme une source attrayante à utiliser pour l'irrigation des périmètres agricoles à proximité des villes.

Dans le cas de la Commune Urbaine d'Antananarivo, les périmètres agricoles et notamment les cressonnières sont irrigués par des eaux usées brutes non traitées. La qualité sanitaire des produits se pose alors à cause des germes pathogènes, des métaux lourds et des résidus de pesticides que peuvent apporter ces eaux.

Des réglementations sont déjà promulguées par le Ministère de l'Environnement, mais leur existence semble très floue ou méconnues pour les agriculteurs.

Dans la deuxième partie de ce mémoire, nous déterminons la qualité et l'aptitude à l'irrigation des eaux des trois zones d'études.





PARTIE II

Nos investigations

Chapitre I

PRESENTATION DES SITES



I-1- CHOIX DES SITES :

Les critères de choix de ces trois zones comme site d'études sont les suivants :

- Ils sont tous des périmètres agricoles de la Commune Urbaine d'Antananarivo, notamment des cressonnières irriguées par des eaux usées de la ville.
- Ce sont des collecteurs primaires d'eaux usées des quartiers environnants.
- Ils sont reliés par un canal dont la source se trouve à Tsiadana et le terminus au marais Masay.
- Les eaux usées sont toutes réutilisées, elles n'ont subi aucun traitement.
- Ces sites produisent les cressons vendus dans les marchés d'Antananarivo et des provinces malgaches.

I-2- DESCRIPTION DES SITES

Tous nos sites d'études se trouvent à proximité du centre ville. Le premier site rattaché au fonkontany d'Ambodirotra – Antsakaviro, appelé **ZONE I** est situé entre 47° 32' et 47° 33' longitude Est, et 18° 55' et 18° 54' latitude Sud. Selon la notification de la CUA, son code fonkontany est 3_02. Le chiffre 3 signifie qu'il appartient au IIIème Arrondissement, le chiffre 02 indique le numéro du fokontany. Il se trouve à une altitude de 1259 m. Il est limité au Nord par le fokontany d'Ankadivato II L (3_16), au Sud par le fonkontany d'Antsahabe – Ankorahotra – Ankazotokana (2_20), à l'Est par le fonkontany d'Ampahibe (3_06), à l'Ouest par le fokontany d'Ampandrana – Ankadivato (1_05). En se référant aux rues, il est limité au Nord par la rue Rasoamanana, au Sud par la rue VVS, à l'Est par la rue Rasamuel Maurice et à l'Ouest par la rue Razafindralambo Pierre.

Le deuxième site, nommé **ZONE II**, est de longitude Est entre 47° 32' et 47° 33', et latitude Sud 18° 53' et 18° 54'. Il est rattaché au fokontany d'Anjanahary II N (5_16). Il est limité au Nord par le fokontany d'Anjanahary II O (5_17), au Sud par le fokontany de Besarety (3_27), à l'Est par le fokontany de Soavinandriana (3_33), et à l'Ouest par le fokontany de Mahavoky (3_29). Il se situe à une altitude de 1249 m et se trouve entre la rue Poudry Robert et la rue Rafaralahy Andriamazoto.



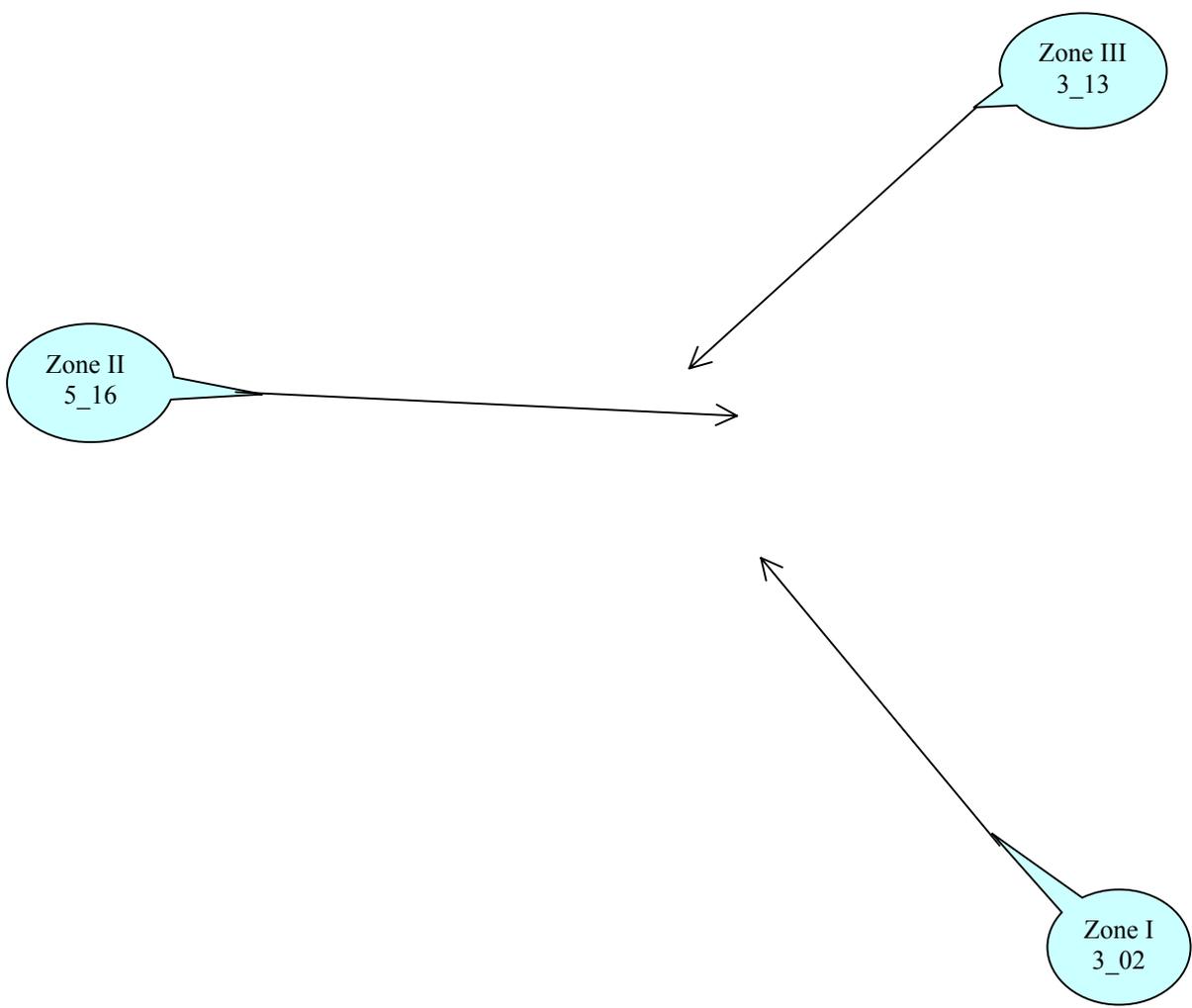
Le troisième site dénommé **ZONE III**, se trouve à une altitude de 1250 m. Il est rattaché au fokontany d'Andravoahangy tsena. Il est localisé entre $47^{\circ} 31' 12''$ et $47^{\circ} 32'$ de longitude Est, et $18^{\circ} 54'$ et $18^{\circ} 53'$ de latitude Sud. Limité au Nord par le fokontany d'Ambodivona - Ankadifotsy (3_03), au Sud par le fokontany de Mahavoky - Besarety (3_29), à l'Est par le fokontany d'Anjanahary II S (5_18), à l'Ouest par le fokontany de Mandialaza – Ambodivona (3_31). Il se trouve entre la rue Me Albertini, la rue Docteur Andrianjafy et la rue Docteur Raphaël Rakoto.

Les cartes N°1, N°2, N°3, N°4, N°5 et N°6 montrent ces trois zones d'étude.

Après avoir pris connaissance des sites d'étude, nous allons procéder à l'analyse qualitative des eaux usées pour mieux répondre à notre problématique.



CARTE 1 :

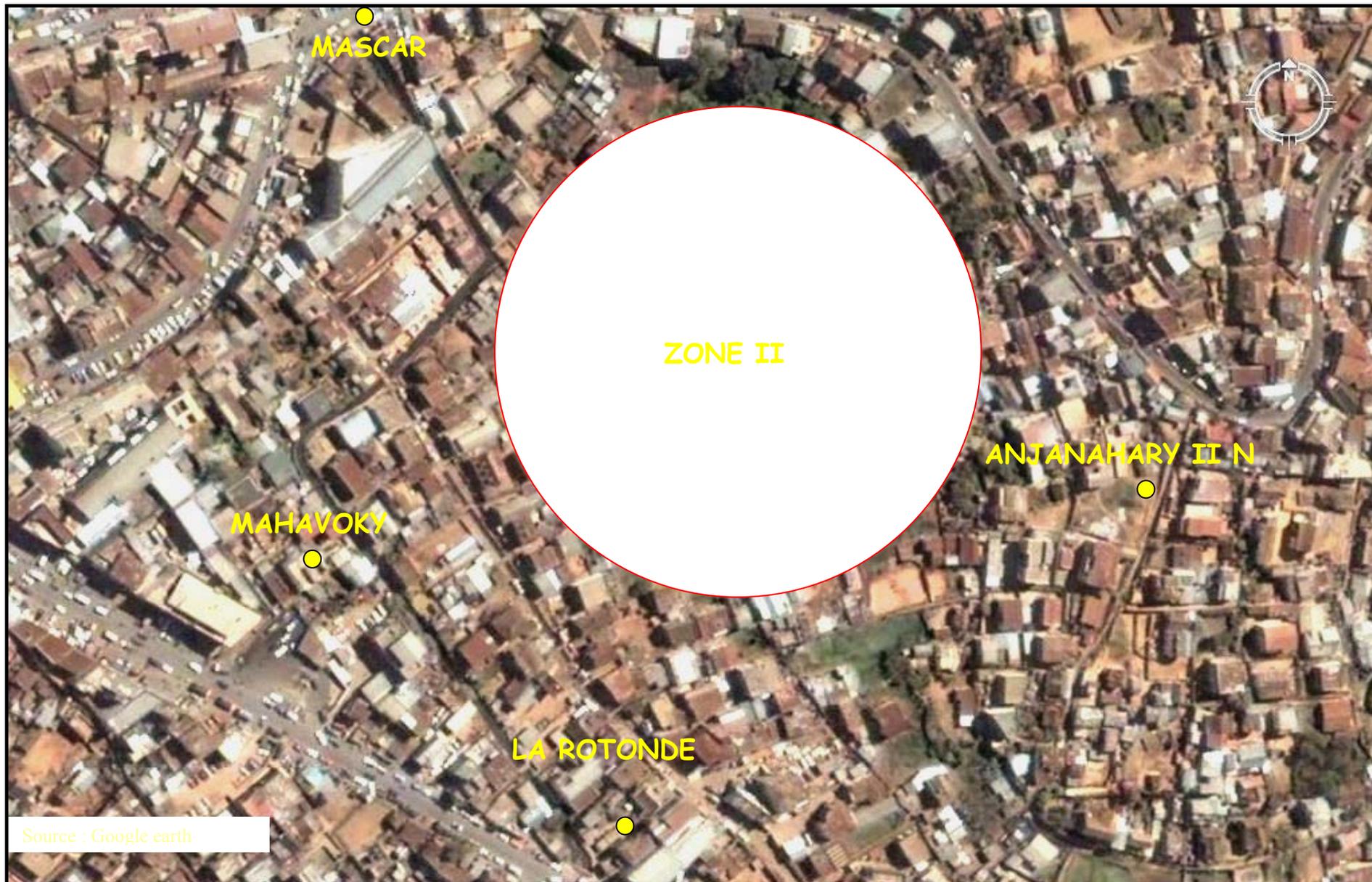


CARTE 2 : ZONE I (AMBODIROTRA – ANTSAKAVIRO)



Source : Google earth

CARTE 3 : ZONE II (ANJANAHARY II N)



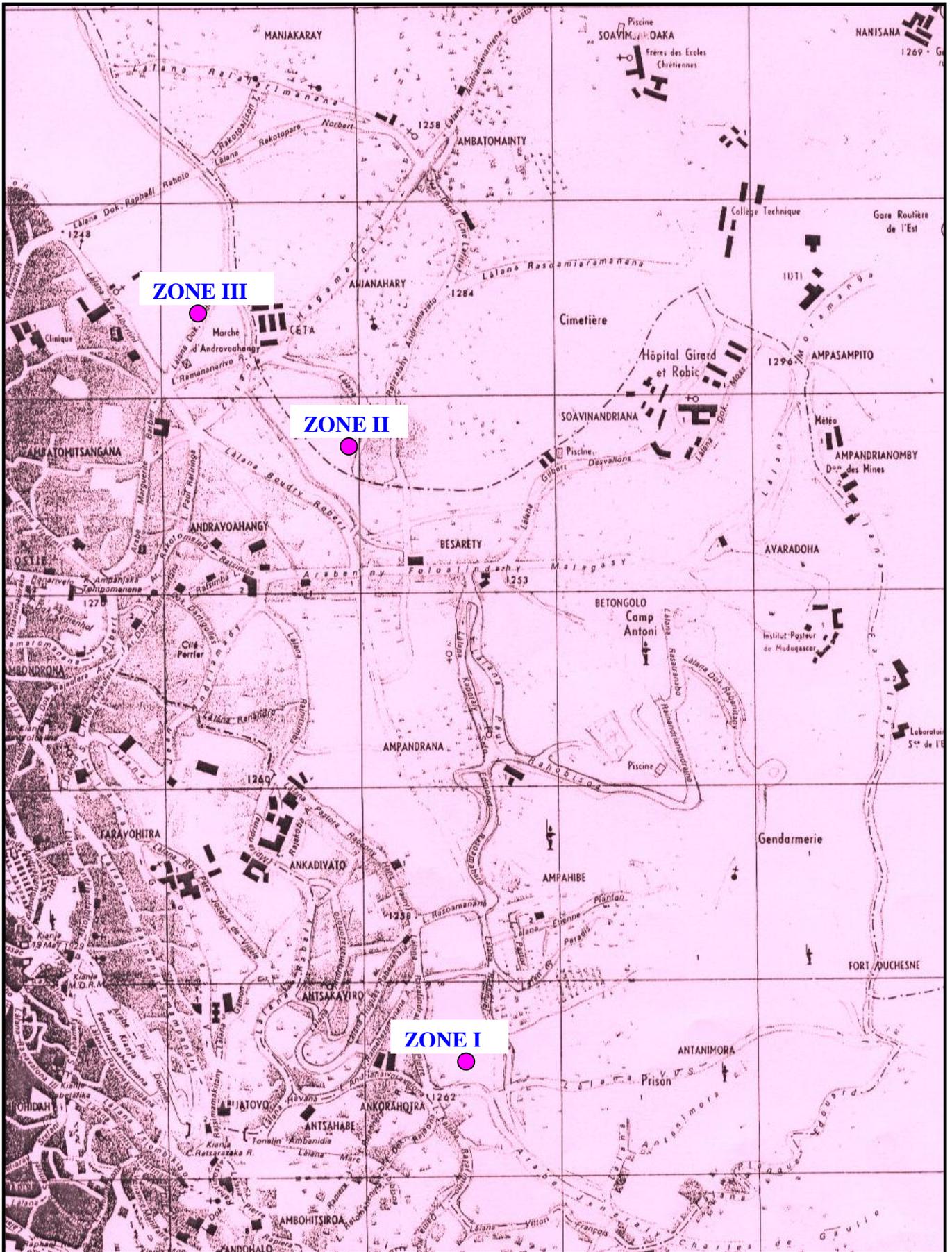
Source : Google earth

CARTE 4 : ZONE III (ANDRAVOAHANGY TSENA)



Source : Google earth

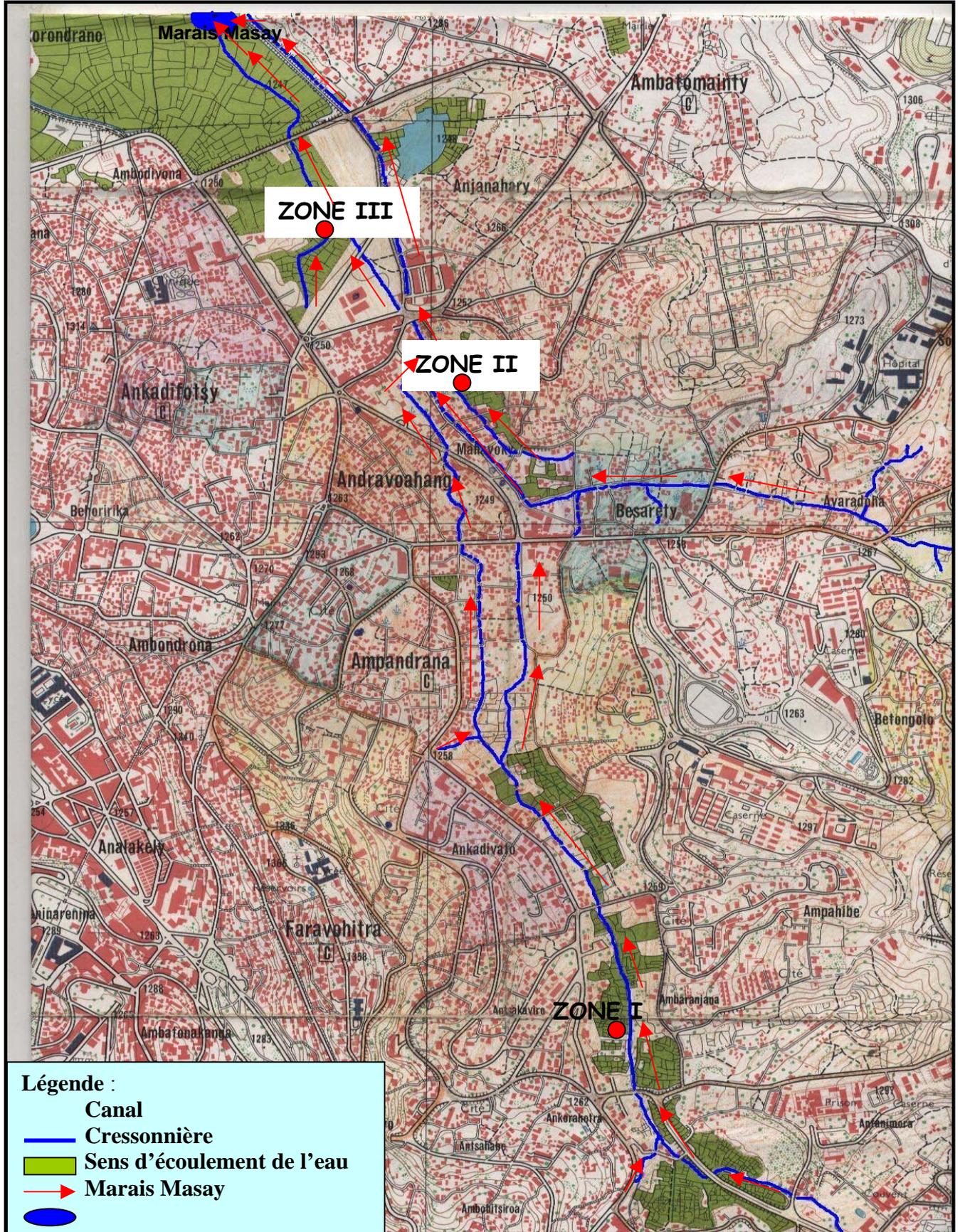
CARTE 5 : Les zones d'études et les rues qui les entourent



Source : FTM

Echelle : 1 / 10 000

CARTE 6 : Les 3 zones d'études et les canaux



Chapitre II

ETUDE QUALITATIVE DES EAUX USEES



Les enquêtes menées auprès des agriculteurs, l'analyse des eaux usées de chaque site, le calcul des charges polluantes adopté par la méthode de l'OMS sur l'évaluation rapide des sources de pollution.

II -1- ENQUETES MENEES AUPRES DES AGRICULTEURS:

II -1- 1 – Méthodologie :

Des descentes sur terrain et des enquêtes sur les modes et les types de culture de cresson auprès des agriculteurs ont été effectuées. Des photos ont été aussi prises.

II -1- 2 – Résultats des enquêtes et les photos :

Tableau 15 : Résultats des enquêtes faites auprès des agriculteurs.

	ZONE I	ZONE II	ZONE III
Types des cressons cultivés	Antsirabe, gasy (zanatany), malamakely	Antsirabe, gasy (zanatany), malamakely	Antsirabe, gasy (zanatany), malamakely
Eaux d'irrigation	Eaux usées brutes	Eaux usées brutes	Eaux usées brutes
Engrais	NPK (11-22-16)	NPK (11-22-16)	NPK (11-22-16)
Pesticides	Karaté, malathion, Ultracide	DDT, Malathion ; karaté, Nuvan	Ultracide, karaté, Malathion
Durée de production	1 mois (en hiver) 1 mois et demi (été)	1 mois (en hiver) 1 mois et demi (été)	1 mois et demi (hiver) 2 mois (été)
Vente	Marchés d'Antananarivo, dans les provinces	Marchés d'Antananarivo, dans les provinces	Marchés d'Antananarivo, dans les provinces
Origine des cressiculteurs	Fianarois	Fianarois	Fianarois



➤ PHOTOS PRISES DANS LES ZONES D'ETUDE

Les photos ont été prises dans le but de voir l'état des sites choisis comme zones d'études.

PHOTOS PRISES DANS LA ZONE I (Ambodirotra)



Photo 01 : WC public – Canal d'irrigation



Photo 02 : Système de prise d'eau



Photo 03 : Cressonnières d' Ambodirotra



Photo 04 : Cressonnières + Azolas



Photo 05 : Canal d'irrigation – Abreuvement des bœufs



Photo 06 : Cressons 1 semaine + Azolas

Sur la zone I, on constate la présence d'un WC public près du canal d'irrigation (voir la photo 01). On constate aussi une forte population d'azolas (ou ramilamina) poussant avec les cressons.

PHOTOS PRISES DANS LA ZONE II (Anjanahary)



Photo 07 : Canal d'irrigation d'Anjanahary *Photo 08* : Cressonnière envahie par des algues



Photo 09 : Cressonnières – Canal – WC

Photo 10 : Cressonnières d'Anjanahary



Photo 11 : WC – canal d'irrigation

Photo 12 : Cressonnières - ordures

On constate des déchets solides dans les eaux d'irrigation, des WC se trouvent à un mètre du canal. La prolifération d'algues est très importante dans cette zone II.

PHOTOS PRISES DANS LA ZONE III (Andravoahangy)



Photo 13 : Canal d'Andrianampoinimerina



Photo 14 : Canal d'irrigation-déchets-cressonnières



Photo 15 : Cressonnières d'Andravoahangy



Photo 16 : Cressons de 2 semaines



Photo 17 : Marécage transformé en cressonnière



Photo 18 : Canal d'irrigation

On constate des déchets solides dans le canal, une forte population des jacinthes d'eaux dans le marais non transformé en cressonnière.



II -1- 3 – Interprétation des enquêtes et observations sur sites

D'après les enquêtes menées auprès des agriculteurs :

- les marais sont devenus des cressonnières.
- ces sites sont irrigués par des eaux usées non traitées.
- les agriculteurs n'utilisent pas de fertilisants chimiques car d'après leurs expériences les eaux apportent des nutriments nécessaires pour le développement des plantes. Ils utilisent des pesticides comme le malathion, le Karaté, l'ultracide, Le karaté semble le plus efficace, il est le plus utilisé.

Les photos permettent de tirer les conclusions suivantes :

- l'eau est très polluée surtout dans les *zones II et III*. Les eaux usées de couleur grisâtre et d'apparence trouble sont accompagnées des déchets solides.
- la présence des WC à proximité des canaux d'irrigation pour les zones I et II est une source de polluants azotés et des matières fécales. De même pour la zone III, les gens habitant aux alentours font directement leurs besoins dans les canaux d'irrigation des cressonnières. L'eau est polluée directement par les excréments humains.
- la prolifération des algues et des plantes comme les azolas dans les cressonnières confirme que les eaux usées des sites contiennent des concentrations d'azotes et de phosphate non négligeables.
- l'odeur désagréable des eaux montre que la concentration en matière organique est élevée. Les eaux usées ont une origine domestique (mélange d'eaux vannes et d'eaux ménagères).

Les enquêtes et les constats physiques ne permettent pas de comparer la qualité des eaux et leur degré de pollution. Ils n'ont donné que des estimations et des premières appréciations servant de guide pour déterminer les paramètres à analyser en laboratoire.



II -2- LES ANALYSES

II -2-1- Analyse physico-chimique

II -2-1-1- Méthodologie d'analyse

Des échantillons d'eau sur chaque zone ont été prélevés puis analysés au laboratoire, pour les paramètres biologiques et les paramètres chimiques ou sur site pour les paramètres physiques.

II -2-1-1-1- Choix des points de prélèvements

Les points de prélèvement ont été choisis afin de pouvoir apprécier l'évolution de la qualité des eaux. Des échantillons d'eau ont été prélevés dans les mêmes conditions à l'entrée et à la sortie des cressonnières.

II -2-1-1-2- Conditionnement des échantillons

Les échantillons sont prélevés dans des bouteilles en plastique de 1,5 litre, rincés plusieurs fois avec de l'eau à analyser pour éviter des composants qui peuvent modifier la qualité de l'eau et fausser aussi les résultats (des bouteilles en verre peuvent présenter le Bore aux échantillons).

Les échantillons sont conservés à une température de 4°C, et à l'obscurité.

II -2-1-1-3- Choix des paramètres analysés

Le maximum de paramètres a été considéré pour avoir le maximum de résultats et des interprétations fiables sur la qualité des eaux.

Les paramètres suivants ont été considérés :

- les paramètres physiques : pH, turbidité, conductivité électrique, taux de salinité, matière en suspension.
- les paramètres chimiques : chlorure, calcium, magnésium, sulfate, phosphate, sodium, nitrate, ammonium, potassium, fer.



- les paramètres biologiques : demande biochimique en oxygène, demande chimique en oxygène.

Les raisons de choix pour ces paramètres figurent dans le tableau 16.

Tableau 16 : Les paramètres analysés pour les eaux usées

Paramètres mesurés	Constituants	RAISON
MES	Solides en suspension	Les solides en suspension affectent l'apparence des eaux et augmentent leur turbidité.
DBO, DCO	Matières organiques biodégradables	La décomposition biologique des matières organiques est à l'origine de la diminution de l'oxygène dissous des eaux.
N, P, K	Nutriments	L'azote, le phosphore et le potassium sont des éléments essentiels pour la croissance des plantes. Leur présence augmente la valeur nutritive des eaux usées pour l'irrigation.
pH	Activité de l'ion Hydrogène	Le pH affecte la solubilité des métaux ainsi que l'alcalinité des sols.
TDS, CE, éléments spécifiques : Na, Ca, Mg, Cl	Inorganiques dissous	Une salinité excessive peut endommager certaines cultures. L'excès en ions Cl ⁻ et Na ⁺ est toxique pour les plantes. Un excès de sodium provoque la salinisation des sols.

Légende

MES : Matière En Suspension

DBO : Demande Biochimique en Oxygène

DCO : Demande Chimique en Oxygène

CE : Conductivité Electrique

TDS : Taux De Salinité

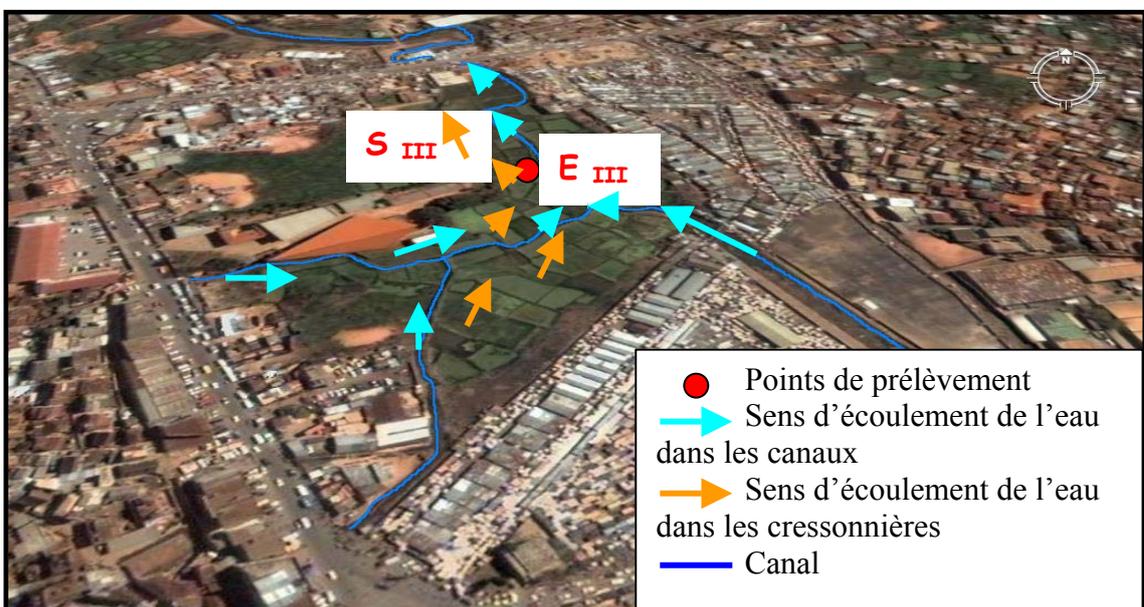
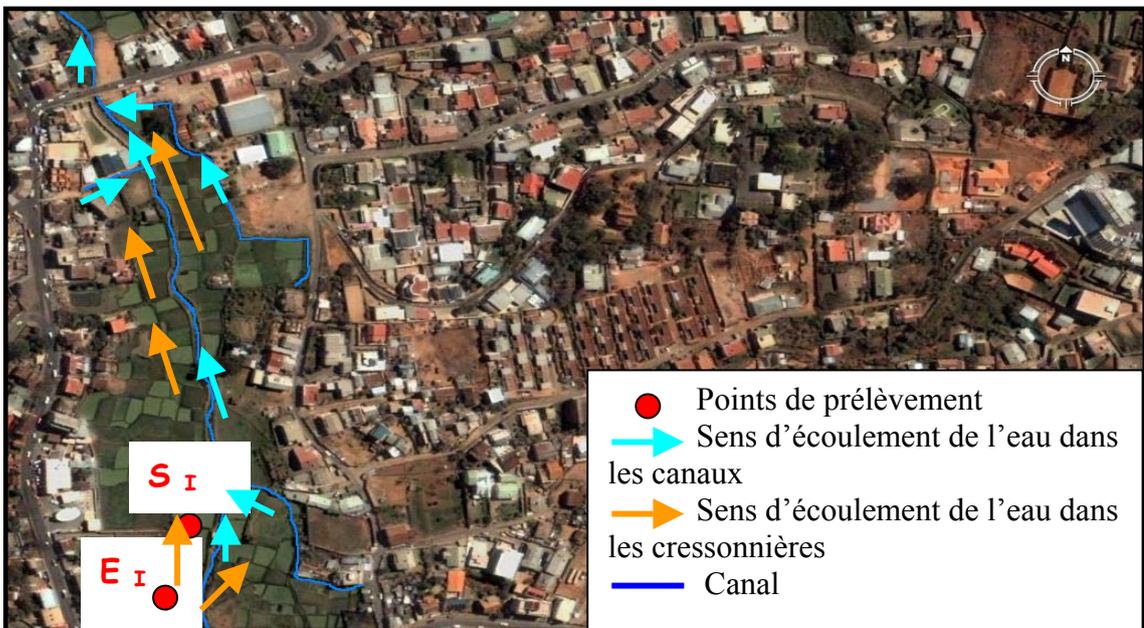
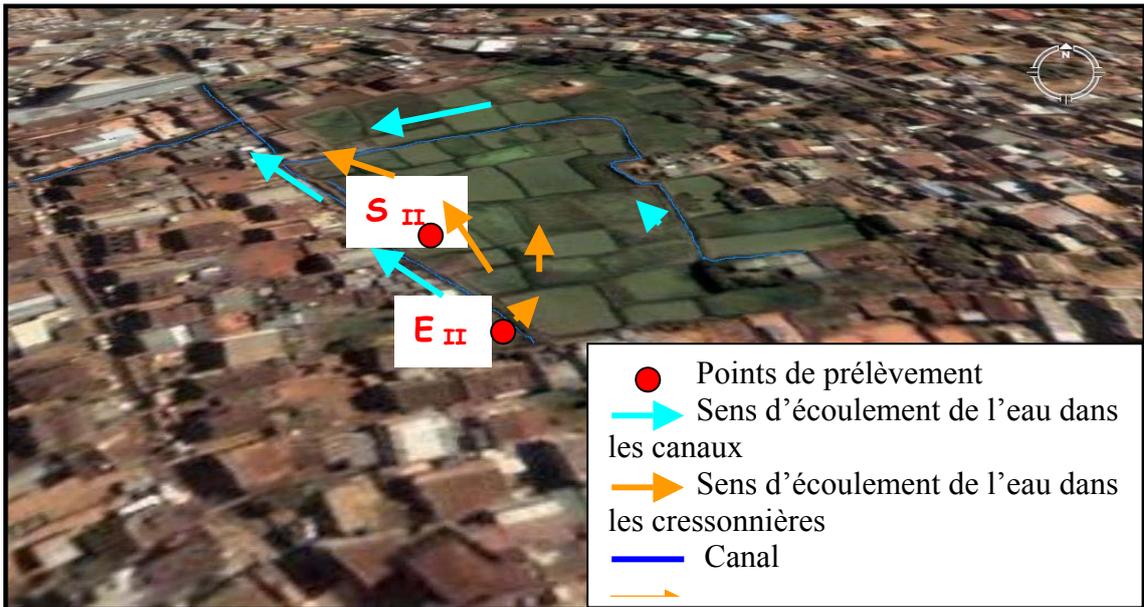


Les méthodes d'analyse utilisées figurent dans le tableau, les modes opératoires sont exposés dans la partie expérimentale.

Tableau 17: les méthodes d'analyse utilisées.

PARAMETRES	UNITES	METHODES	PRECISION
Conductivité	$\mu\text{S/cm}$	Conductimètre	$\pm 0,1$
TDS	mg/l	Conductimètre	
pH	mg/l	Méthode électrométrique	$\pm 0,1$
DCO	mg/l	Oxydation au KCr_2O_7	$\pm 0,1$
MES	mg/l	Filtration sur membrane	$\pm 0,1$
Phosphate	mg/l	Volumétrie	$\pm 0,1$
Sulfate	mg/l	Volumétrie	$\pm 0,1$
Turbidité	NTU	Turbidimètre	
Calcium	mg/l	Volumétrie	$\pm 0,1$
Magnésium	mg/l	Volumétrie	$\pm 0,1$
Température	$^{\circ}\text{C}$	Thermomètre	
Ammonium	mg/l	Spectrophotométrie	$\pm 0,1$
Nitrate	mg/l	Spectrophotométrie	$\pm 0,1$
Chlorure	mg/l	Méthode de Mohr	$\pm 0,1$
Sodium	mg/l	Spectrophotométrie	$\pm 0,1$
Fer	mg/l	Spectrophotométrie	$\pm 0,1$

CARTE 7 : Les points de prélèvement dans les zones d'études



II -2-1-1-4 – Définition des échantillons

- E_I : échantillon prélevé à l'entrée des cressonnières dans la zone I
- S_I : échantillon prélevé à la sortie de quelques cressonnières dans la zone I
- E_{II} : échantillon prélevé à l'entrée des cressonnières dans la zone II
- S_{II} : échantillon prélevé à la sortie de quelques cressonnières dans la zone II
- E_{III} : échantillon prélevé à l'entrée des cressonnières dans la zone III
- S_{III} : échantillon prélevé à la sortie de quelques cressonnières dans la zone III

II -2-1-2- Résultats des analyses : Les prélèvements ont été effectués en Août 2007

Tableau 18 : Résultats des analyses au laboratoire

		ZONE I		ZONE II		ZONE III	
		E _I	S _I	E _{II}	S _{II}	E _{III}	S _{III}
Paramètres biologiques	DBO	5	3	100	10	60	5
	DCO	43	32	245	61	113	43
Paramètres physiques	pH	7,05	7,11	7,19	7,13	6,72	6,91
	CE (µS/cm)	331	283	501	421	400	318
	TDS (mg/l)	176	155	267	225	212	169
	MES (mg/l)	82	45	60	102	100	20
Paramètres chimiques	Ammonium (mg/l)	1,71	1,26	4,22	3,18	2,53	1,67
	Nitrate (mg/l)	0,142	0,427	0,211	0,294	0,152	0,0108
	Phosphate (mg/l)	0,015	0,003	0,045	0,013	0,017	0,017
	Potassium (mg/l)	9	7,5	13	10,5	8,5	8,5
	Fer (mg/l)	1,91	0,79	2,97	0,11	1,86	2,49
	Calcium (mg/l)	224	234	240	288	200	204
	Magnésium (mg/l)	64,8	57,6	72	81,6	57,6	55,2
	Sodium (mg/l)	28	25,5	50	31	30	26,5
	Sulfate (mg/l)	14,7	6,8	12,4	5,1	9,9	3,8
Chlorure (mg/l)	340,8	312,4	568	468	383,4	312,4	



II -2-1-3 – Interprétation des résultats :

Les charges polluantes dans les zones I, II et III sont rapportées respectivement dans les graphes 1, 2 et 3.

II -2-1-3-1 – Charges polluants :

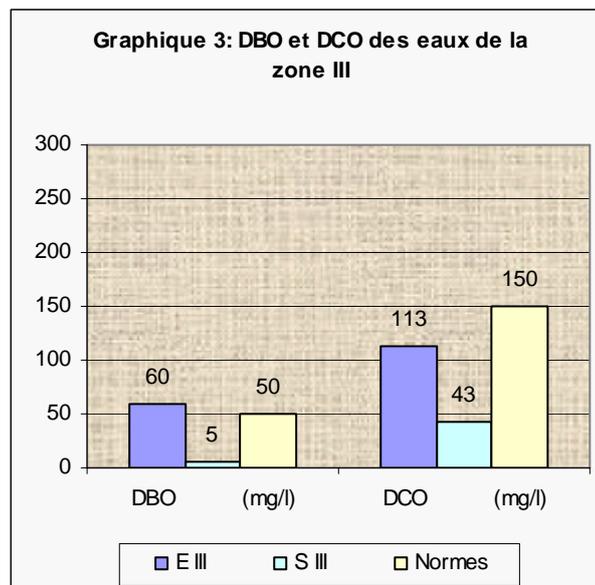
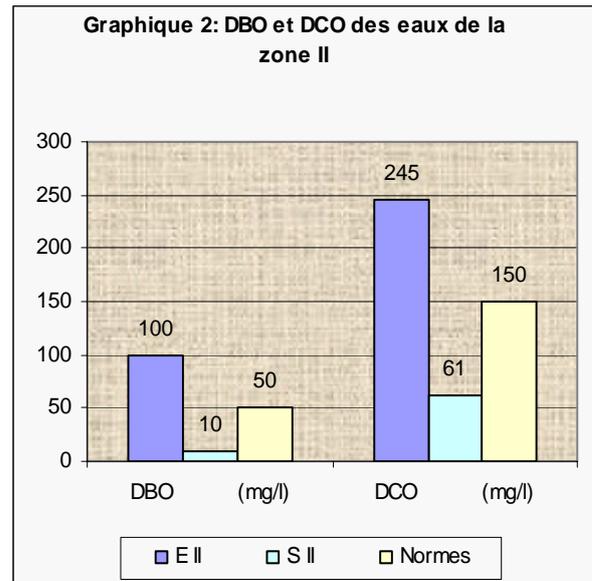
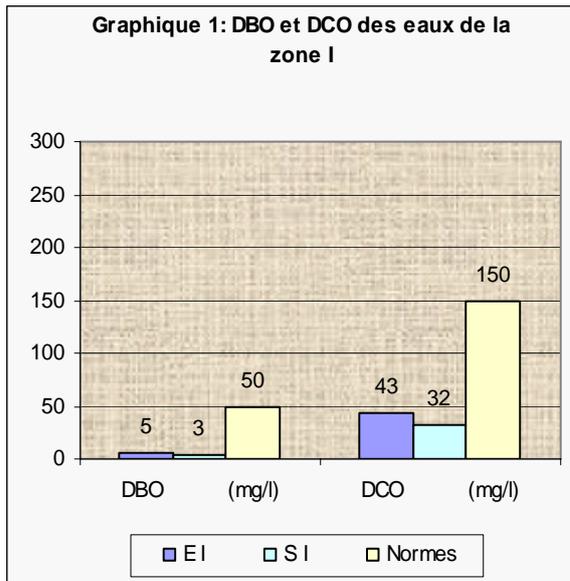


Tableau 19 : Calculs des rapports DBO/DCO dans les zones d'études



	ZONE I		ZONE II		ZONE III	
	E _I	S _I	E _{II}	S _{II}	E _{III}	S _{III}
DBO	5	3	100	10	60	5
DCO	43	32	245	61	113	43
DBO / DCO	0,116	0,093	0,408	0,164	0,531	0,116

Les valeurs en rouge sont hors normes (DBO = 50 mg/l ; DCO = 150 mg/l).

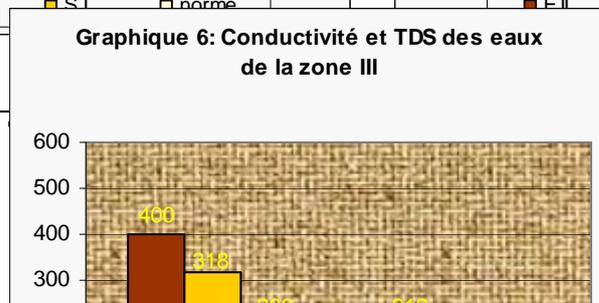
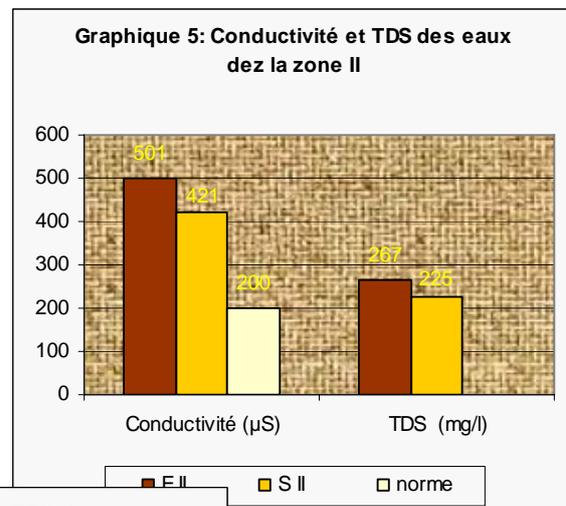
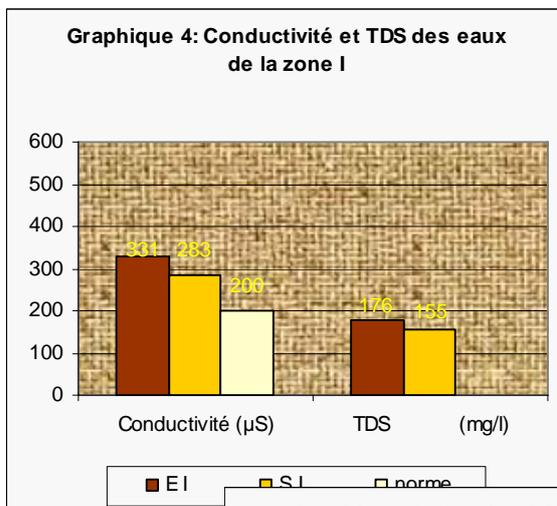
Les valeurs les plus élevées de DBO et DCO sont observées pour la zone II, au point E_{II} (DBO = 100mg/l et DCO = 245mg/l). Si on se réfère aux normes des rejets d'effluents liquides, ces eaux usées ne peuvent pas être rejetées dans le milieu naturel. On peut en déduire que des trois sites, c'est le plus pollué.

En outre, on remarque qu'à la sortie de quelques cressonnières, l'eau devient plus propre biologiquement car les valeurs de la DBO et DCO sont nettement inférieures aux valeurs préconisées dans les normes. Le sol et les cressons ont vraisemblablement un rôle épurateur remarquable.

Aux points E_{II} et E_{III}, le rapport DBO / DCO est supérieur à 0,4 ; ce qui prouve que l'eau y est à dominante organique, des traitements biologiques de la matière oxydable sont recommandés.

Aux points E_I, S_I, S_{II} et S_{III}, le rapport est inférieur à 0,2, l'eau est à dominante inorganique, elle contient des polluants difficilement biodégradables.

II -2-1-3-2- Salinité :



**Tableau 20 : Conductivités et taux de salinité (TDS) des eaux usées de chaque site.**

	ZONE I		ZONE II		ZONE III	
	E _I	S _I	E _{II}	S _{II}	E _{III}	S _{III}
CE $\mu\text{S}/\text{cm}$	331	283	501	421	400	318
TDS mg/l	176	155	267	225	212	169

Les valeurs en rouge sont supérieures à celles des normes de rejets.

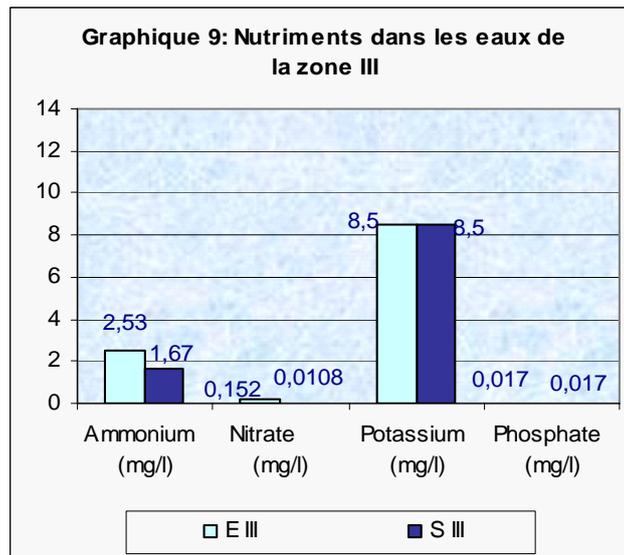
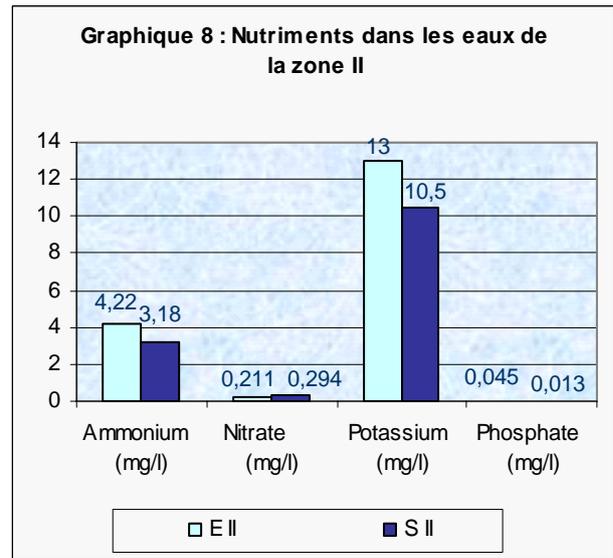
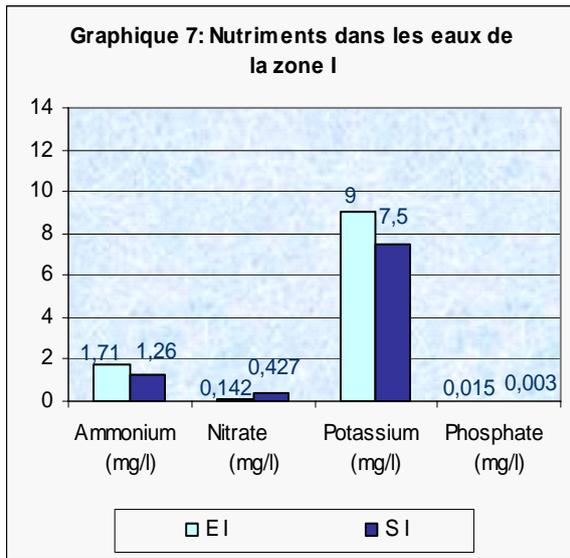
La conductivité aux points E_I, E_{II}, E_{III} varient de 283 à 501 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ces valeurs ne se trouvent pas dans la plage de la conductivité des eaux usées pouvant être rejetées dans le milieu naturel ($\text{CE} \leq 200 \mu\text{S}/\text{cm}$). La minéralisation est due aux ions Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} et SO_4^{2-} (voir graphes 10, 11, 12, 13, 14, 15).

Dans les trois zones d'études, une légère diminution de la conductivité est observée à la sortie des quelques cressonnières, aux points SI, SII, SIII. Cette diminution pourrait être due par l'adsorption de certains ions de l'eau par le complexe absorbant du sol ou par les plantes.

Si on se réfère aux directives d'interprétation de la qualité des eaux pour l'irrigation (FAO 1985), les eaux usées des zones d'études ont une salinité moyenne. De plus, la relation entre la salinité et la conductivité électrique de l'eau d'irrigation permet de reconfirmer que les eaux usées des trois sites ont une salinité moyenne ($250 < \text{CE} < 750$ cf. tableau 5). Compte tenu de leur salinité, ces eaux peuvent être réutilisées sans aucun degré de restriction.

En outre, la concentration en sels inférieure à 500mg/l pour tous les sites à l'entrée et à la sortie des cressonnières ne pose aucun risque de salinité.

Les eaux ne peuvent nuire ni au développement des plantes ni à la structure des sols.

II -2-1-3-3- Nutriments

Ces graphes nous montrent que les eaux usées qui drainent les sites, contiennent des nutriments N, P, K. On a une concentration élevée du potassium pour chaque zone d'étude. Ceci est dû par la présence des sels de potassium dans les eaux d'égouts urbains, ainsi que l'utilisation des fertilisants potassés.

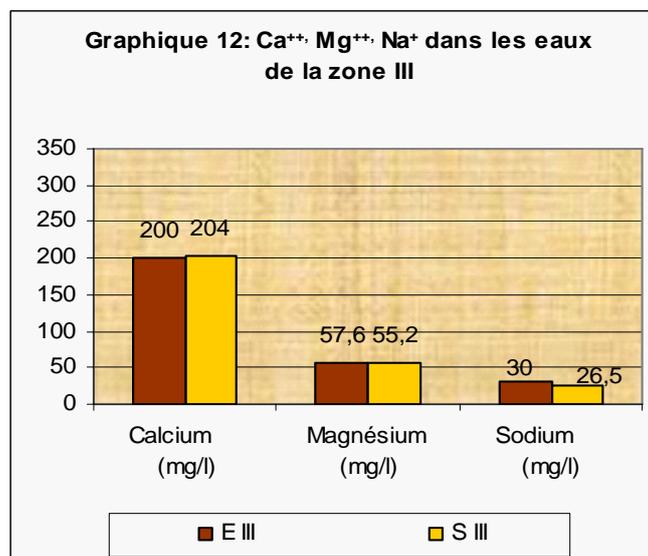
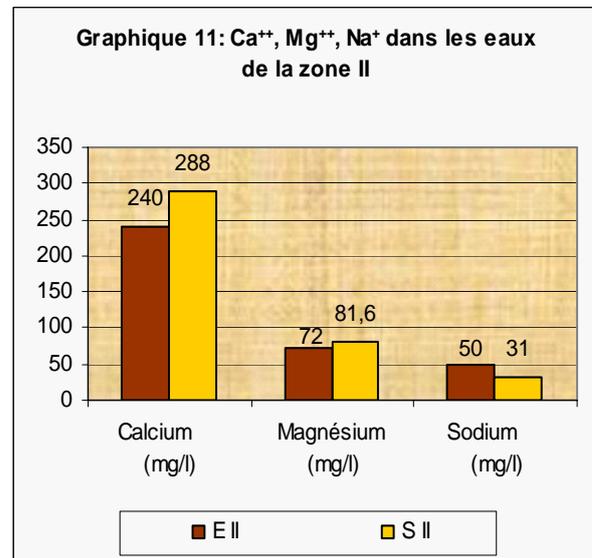
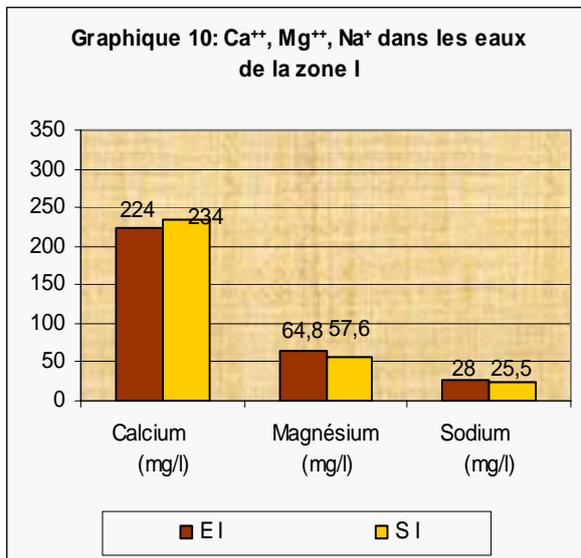
Les concentrations en phosphate dans les zones I et II diminuent de l'entrée à la sortie, ce qui explique que les phosphates sont adsorbés par les plantes, par le sol ou assimilés par les bactéries qui assurent la décomposition des matières organiques dans l'eau.

En outre, les concentrations des ammoniums dans chaque site sont remarquables.

En effet, les ammoniums provenant essentiellement des eaux vannes (l'urée, élément dominant de l'urine) se transforme très vite, en anaérobiose, dans les canalisations en azote ammoniacal.

Une légère diminution du taux d'ammonium et une légère augmentation du taux des nitrates sont remarquées à la sortie des cressonnières des trois zones. Ceci est dû au fait que l'azote, sous forme oxydée, est plus mobile dans les sols ; les nitrates sont facilement lessivés tandis que l'azote ammoniacal est fortement adsorbé sur le complexe échangeur de cation du sol. L'existence des algues vertes et les azolas montre aussi que les eaux des sites ont des apports notables en azote.

II -2-1-3-4- Sodicité :



Ces graphes montrent que les eaux usées des sites présentent des quantités remarquables en calcium, elles varient de 200mg/l à 288mg/l.

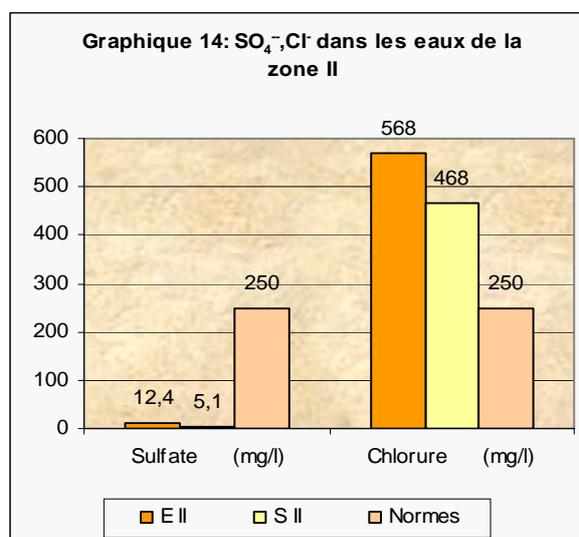
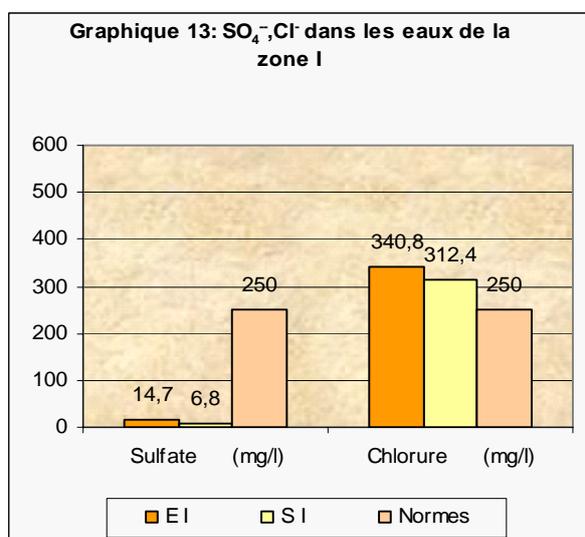
Cet apport en ions calcium proviendrait de la dissolution des roches calcaires dans les canaux pendant le parcours des eaux. De plus, c'est le cation dominant des eaux potables et un composant majeur de la dureté de l'eau.

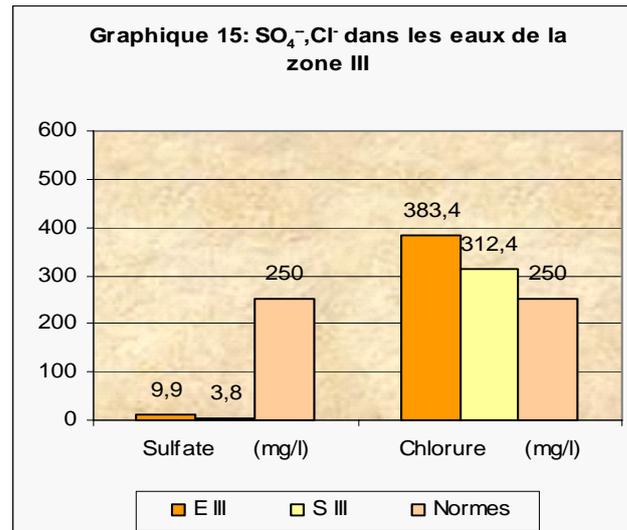
Les apports en magnésium et en sodium dans les eaux des zones I, II et III sont en faibles quantités. Donc on peut dire que ces eaux ne présentent pas de risque pour l'environnement, surtout en ce qui concerne le risque de sodicité (SAR des eaux est compris entre 2 à 4). De plus, la concentration en ion Na^+ est très inférieure à celle de Mg^{2+} et Ca^{2+} . Ces eaux ne présentent pas de danger d'alcalinisation si l'on se réfère au tableau 7.

Tableau 21 : Calculs des SAR des eaux usées dans les zones d'études.

	ZONE I		ZONE II		ZONE III	
	E _I	S _I	E _{II}	S _{II}	E _{III}	S _{III}
Na ⁺ (mg/l)	28	25,5	50	31	30	26,5
Ca ²⁺ (mg/l)	224	234	240	288	200	204
Mg ²⁺ (mg/l)	64,8	57,6	72	81,6	57,6	55,2
SAR	2,330	2,112	4,003	2,280	2,643	2,328

II -2-1-3-5- Les anions





D'après les valeurs notées dans ces graphes, les eaux usées dans les zones d'études contiennent des concentrations en chlorure supérieures aux normes de rejets d'effluents liquides. Donc des traitements sont à effectuer avant déversement dans la nature car les chlorures peuvent causer des brûlures des feuilles pour les plantes comme les cressons.

Si l'on se réfère aux directives d'interprétation de la qualité d'une eau pour l'irrigation (cf. tableau 13), ces eaux ne peuvent pas être réutilisées pour l'irrigation. Le degré de restriction à l'usage est sévère (concentration d'ion $\text{Cl}^- > 10 \text{ méq/l}$).

L'abondance des ions dans l'eau peut être causée par les eaux usées domestiques qui contiennent des sels de cuisine dissouts, de l'eau de javel.

II -2-2- Analyse des eaux usées dans les canaux d'irrigation : depuis Ambodirotra jusqu'au marais Masay

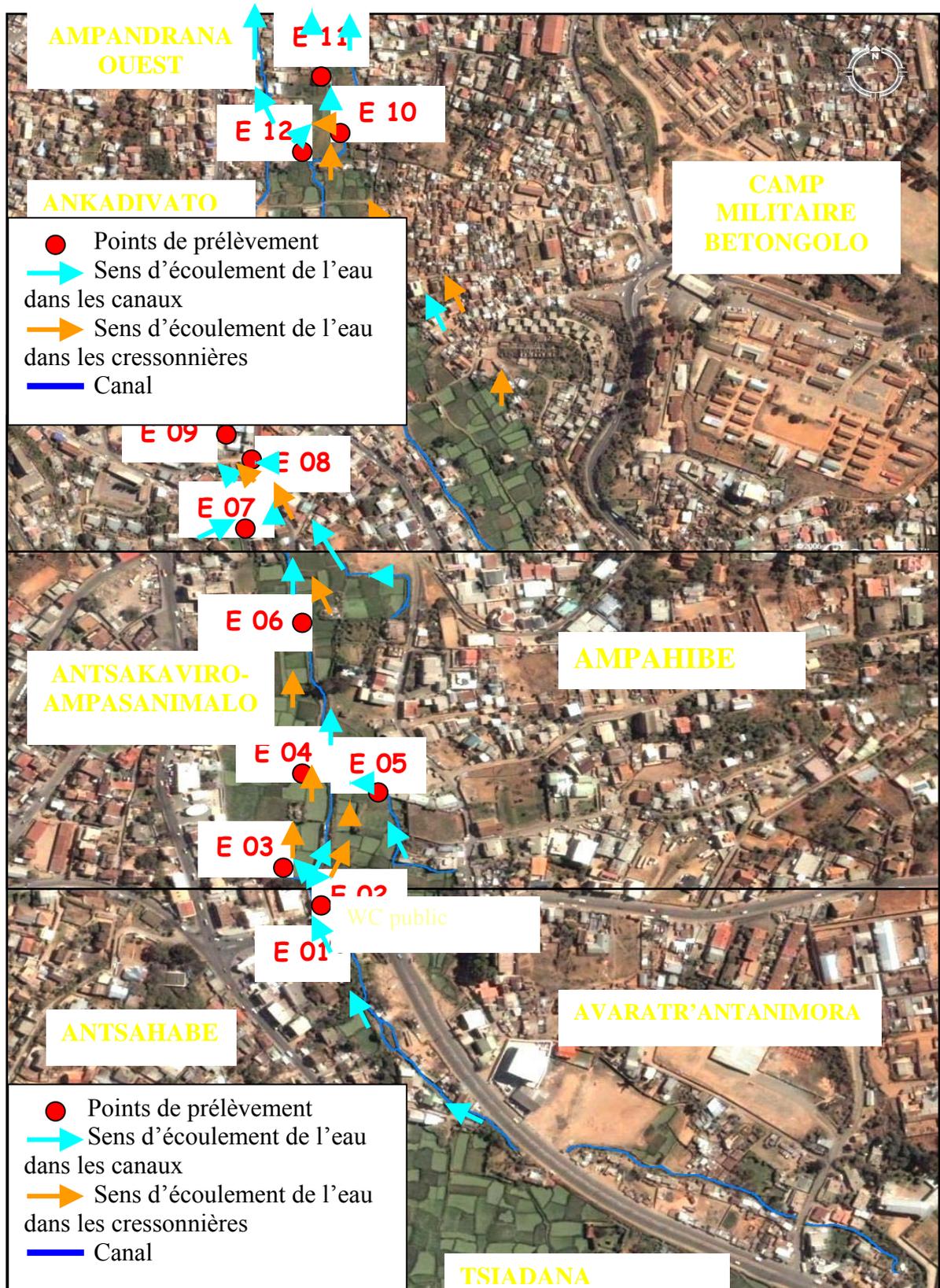
II -2-2-1- Méthodologie

Pour étudier l'eau du canal, nous avons effectué des analyses sur les sites et au laboratoire. Nous avons choisi plusieurs points de prélèvements le long du canal tout en tenant compte des différentes sources d'eaux usées.

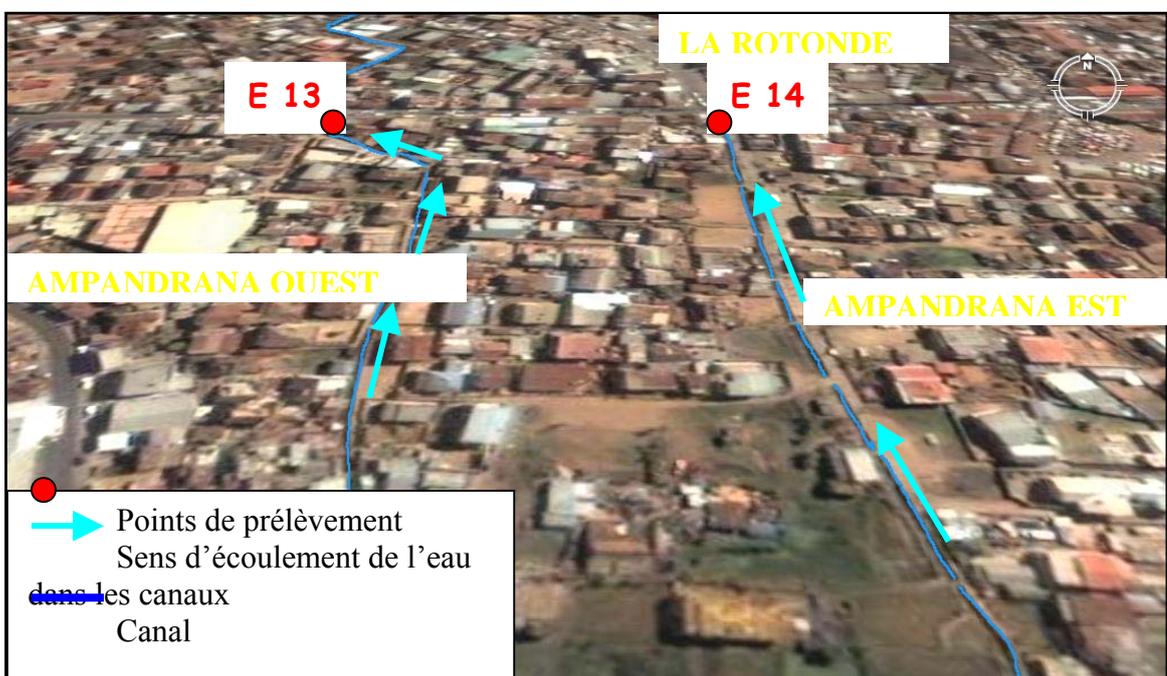
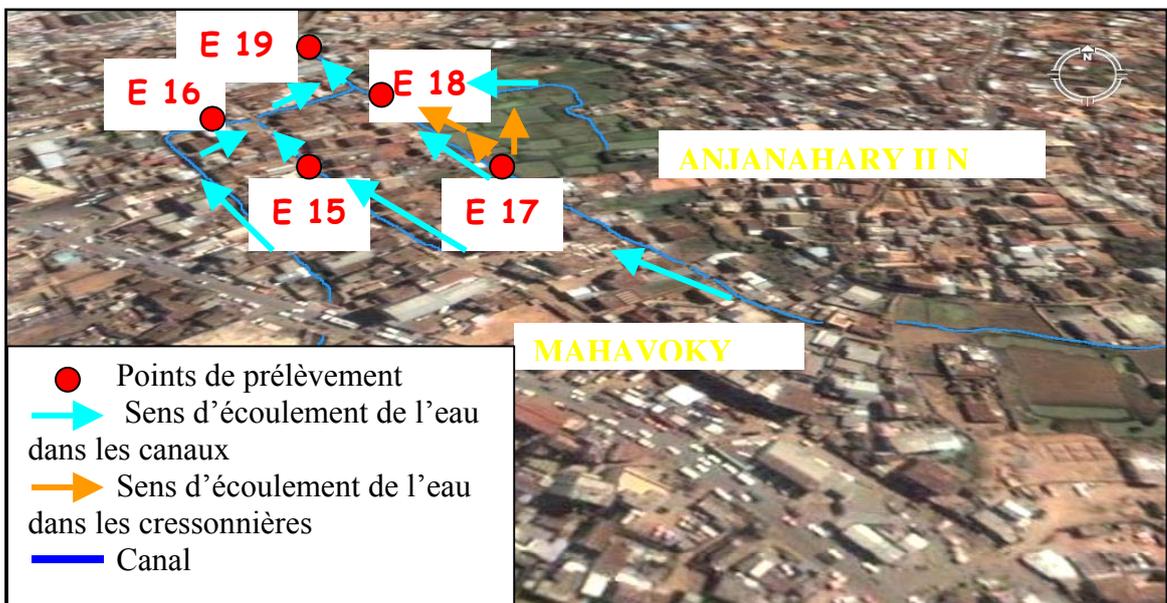
II -2-2-1-1- Choix des points de prélèvement

Les points de prélèvement ont été choisis pour pouvoir apprécier l'évolution de la qualité des eaux au fur et à mesure qu'on s'éloigne d'Ambodirotra.

CARTE 8 : Les points de prélèvement des eaux dans les canaux : d' Ambodirotra au marais Masay



CARTE 8 : Les points de prélèvement des eaux dans les canaux : d'Ambodirotra au marais Masay (suite)





Ainsi, nous avons effectué le maximum de prélèvements pour bien interpréter la qualité des eaux usées du canal. Les prélèvements et les analyses ont été effectués pendant toute une journée de 8h à 16h.

II -2-2-1-2- définition des échantillons

- **E 01** : échantillon d'eau prélevé en amont de la zone I
- **E 02** : échantillon d'eau prélevé à l'entrée de la zone I (canal principal)
- **E 03** : échantillon d'eau prélevé en amont des cressonnières
- **E 04** : échantillon d'eau prélevé à la sortie de la 4ème cressonnière
- **E 05** : échantillon d'eau prélevé dans le 1^{er} canal provenant d'Ampahibe
- **E 06** : échantillon d'eau prélevé dans le mélange de **E 05** avec celle du canal principal
- **E 07** : échantillon d'eau prélevé dans le canal provenant du fokontany d'Antsakaviro
- **E 08** : échantillon d'eau prélevé dans le 2^{ème} canal en provenance d'Ampahibe + sortie des cressonnières
- **E 09** : échantillon d'eau prélevé en amont des cressonnières d'Ampandrana-Est et Ampandrana-Besarety (après le pont)
- **E 10** : échantillon d'eau prélevé à la sortie quelques cressonnières d'Ampandrana-Est
- **E 11** : échantillon d'eau prélevé en amont où le canal principal se divise en deux
- **E 12** : échantillon d'eau prélevé dans le mélange de E 10 avec celle du canal secondaire (côté droit) Ampandrana Est
- **E 13** : échantillon d'eau prélevé dans le canal secondaire (côté gauche), Ampandrana Besarety, auprès de la FPVM
- **E 14** : échantillon d'eau prélevé dans le canal secondaire (côté droit) auprès de la restaurant La Rotonde
- **E 15** : échantillon d'eau prélevé dans le canal en provenance de Besarety
- **E 16** : échantillon d'eau prélevé dans le canal en provenance d'Andravoahangy Est
- **E 17** : échantillon d'eau prélevé dans le canal en provenance de Soavinandriana (canal d'irrigation de la zone II)
- **E 18** : échantillon d'eau prélevé dans le canal en provenance d'Anjanahary + sortie des sites cressonnières
- **E 19** : échantillon d'eau prélevé dans le mélange de E 15, E 16, E 17, E 18 qui vont se rejeter dans le canal d'Andrianampoinimerina
- **E 20** : échantillon d'eau prélevé dans le canal en provenance d'Andravoahangy Ouest, de Madialaza-Ankadifotsy et Mandialaza-Ambatomitsangana
- **E 21** : échantillon d'eau prélevé dans le mélange de E 20 + canal d'Andrianampoinimerina
- **E 22** : échantillon d'eau prélevé en aval de la zone III
- **E 23** : échantillon d'eau prélevé dans le marais Masay



II -2-2-1-3- Choix des paramètres

Nous avons choisi comme paramètres d'analyses la turbidité, pH, CE et le TDS. Ces paramètres nous permettent d'évaluer la qualité des eaux usées du canal, surtout les risques de salinité, si elles ont aptes à l'irrigation.

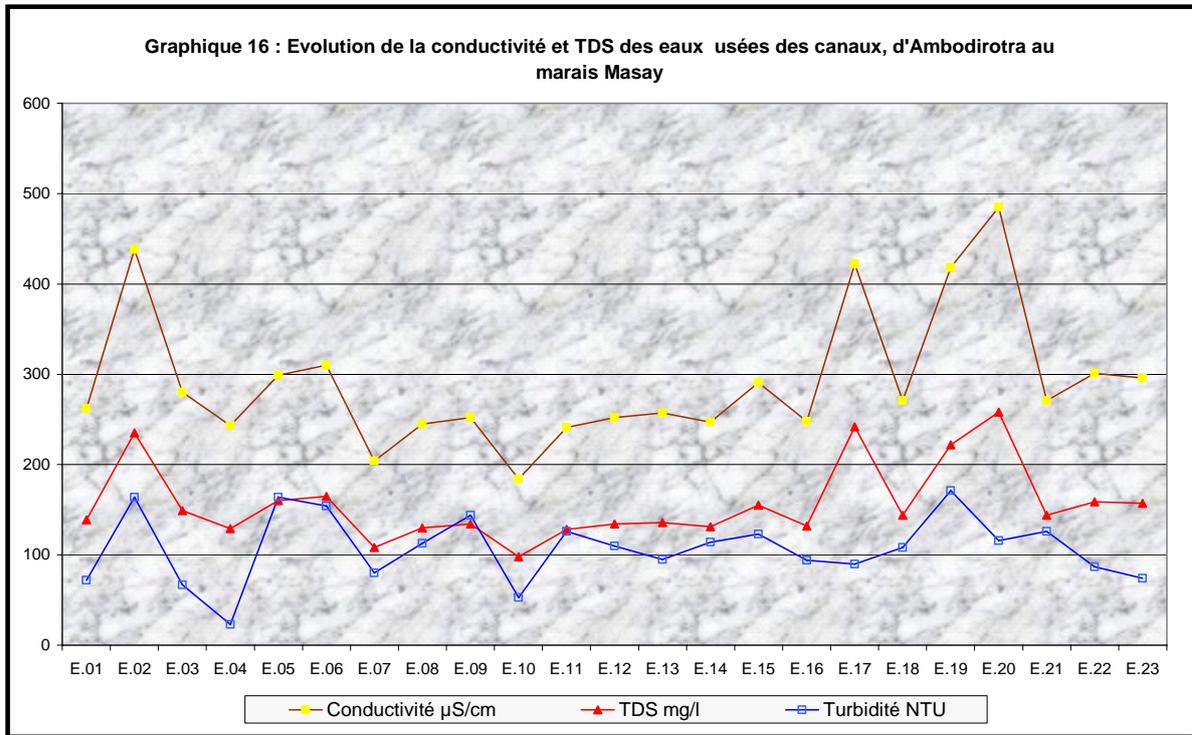
II -2-2-2- Résultats des analyses : Les prélèvements ont été effectués en mai 2007

Tableau 22 : Résultat des analyses des eaux usées dans les canaux d'irrigation : depuis Ambodirotra jusqu'au marais Masay.

Paramètres	pH	Conductivité	TDS	Turbidité
Numéros des échantillons		µS/cm	mg/l	NTU
E 01	6,94	262	139	72
E 02	6,82	438	235	164
E 03	6,84	280	149	67
E 04	6,92	243	129	23
E 05	6,57	299	160	164
E 06	6,38	310	165	154
E 07	6,43	204	108	80
E 08	6,47	245	130	113
E 09	6,58	252	134	144
E 10	6,82	184	98	53
E 11	6,71	252	134	110
E 12	6,76	241	128	126
E 13	6,68	257	136	95
E 14	6,65	247	131	114
E 15	6,72	291	155	123
E 16	6,68	248	132	94
E 17	6,50	422	242	90
E 18	6,68	271	144	108
E 19	6,56	418	222	171
E 20	6,56	485	258	116
E 21	6,71	271	144	126
E 22	6,70	301	159	87
E 23	7,13	296	157	74

II -2-2-3- Interprétation des résultats

Nous allons interpréter les résultats à partir du graphe 16.



Les trois paramètres (CE, TDS et Turbidité) ont même allure. Les eaux sont troubles, leur turbidité est supérieure à 50 NTU sauf pour le point **E 04**. La turbidité des eaux sortant de la quatrième cressonnière dans la **zone I** a la plus faible valeur (23 NTU). On peut penser que pendant le passage des eaux dans les cressonnières, les matières en suspension se décantent.

Si on se réfère aux normes de rejet (cf. tableau 12), ces eaux ne doivent pas être évacuées dans le milieu naturel sans traitement.

La conductivité des eaux varie de 200 à 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; ces eaux sont moyennement salines (cf. tableau 5), il n'y a aucun risque de salinité du sol et aucune restriction dans leur utilisation.

Ce graphe nous permet de montrer que les conductivités varient avec le taux de salinité. On peut en déduire que la conductivité et le TDS sont proportionnels, le coefficient de proportionnalité est d'environ de 1,88.

Si l'on observe point par point, on remarque que de **E 01** à **E 02**, on a une brusque augmentation de la conductivité. Ceci peut être dû à la présence du WC public entre les deux points.



De **E 02** à **E 04**, on a encore une diminution de la conductivité. On peut penser que pendant la traversée des cressonnières, l'eau subit une déminéralisation dont la cause peut être soit l'adsorption de certains éléments par le sol, soit l'auto-épuration de l'eau dans son trajet.

La conductivité de l'eau en provenance d'Ampahibe, en **E 05**, est légèrement supérieure à celle du canal principal. Le mélange d'eaux est obtenu en **E 06**, sa conductivité a un peu augmenté. On peut en déduire que la conductivité des eaux n'est cumulative. Certains ions se combineraient pour donner des éléments très solubles dans l'eau.

En **E 07**, la conductivité des eaux en provenance d'Antsakaviro – Ampasanimalo (CE = 204 $\mu\text{S}/\text{cm}$) est légèrement supérieure à la norme de rejet (200 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ces eaux peuvent être rejetées dans le milieu naturel. La dégradation de certains éléments constitutifs des eaux et le phénomène d'épuration durant leurs parcours peuvent en être la cause.

Au point **E 09**, c'est-à-dire en aval de la zone I, la conductivité des eaux est sensiblement égale à celle trouvée en **E 01** (en amont de la zone I). Ainsi, on peut déduire que les cressonnières et la longueur du parcours jouent des rôles importants sur la qualité des eaux. En effet, les cressons jouent un rôle épurateur au même titre que les jacinthes d'eaux (Tsikafonkafona). De plus, l'adsorption de certains éléments par les complexes du sol peut en être aussi la cause. A la sortie de la zone I, ces eaux usées sont encore réutilisées pour l'irrigation des cressonnières d'Ampandrana.

Pour vérifier les résultats précédents sur la capacité des cressons ou des cressonnières d'adsorber certains éléments de l'eau, nous avons considéré l'échantillon E 10. Ce dernier représente l'eau à la sortie de quelques cressonnières d'Ampandrana-Est. Une conductivité (CE=184 $\mu\text{S}/\text{cm}$) conforme à celle préconisée par la norme de rejet est constatée.

Au point **E 11**, l'eau du canal se divise en deux parties, l'une traverse Ampandrana-Est et se dirige vers le canal au niveau du restaurant La Rotonde (**E 14**), l'autre va d'Ampandrana-Besarety et rejoint le canal près de l'église FPVM d'Antaninanandrano (**E 13**).

Les trois points E 11, E 13, E 14 mettent en évidence les rôles que peuvent jouer la distance parcourue par les eaux usées. La conductivité ne subit pas des grandes variations



(E 11= 252 $\mu\text{S/cm}$, E 13 = 257 $\mu\text{S/cm}$, E 14 = 247 $\mu\text{S/cm}$) même si les eaux usées en provenance d'Ampandrana-Est et ses affluents, en provenance d'Ampandrana –Besarety et ses affluents se rejoignent. Il semblerait donc que, lorsque la distance parcourue par les eaux usées est grande, les qualités s'améliorent tout au long de leur parcours du fait de l'autoépuration (biodégradation), de la décantation, de l'adsorption des quelques éléments par les sols.

Au point **E 17**, on observe une brusque augmentation de la conductivité ; ces l'eau en provenance de Besarety, de Soavinandriana et d'Anjanahary, qui est aussi l'eau en amont de la **zone II** où l'on constate des WC privées à proximité du canal, et les effluents de l'Hôpital de Soavinandriana.

On observe une forte valeur de la conductivité au point **E 19** et au point **E 20** qui reçoit respectivement le mélange des eaux en provenance de E 15, E 16, E 17, E 18, et les eaux en provenance des fokontany de Mandialaza et ses quartiers environnants. La présence du WC public dans le fokontany de Mandialaza-Ankadifotsy peut être la cause de la valeur élevée pour E 20. L'existence des WC à proximité des canaux provoque donc une augmentation de la conductivité des eaux.

Enfin, en comparant la conductivité des eaux du marais Masay (296 $\mu\text{S/cm}$) à celle de E 1, en amont de la zone I (262 $\mu\text{S/cm}$), les deux échantillons ont presque la même conductivité bien que le marais Masay reçoive deux collecteurs d'eaux pluviales et les eaux usées des quartiers d'Antanimora, d'Ampahibe, d'Ankasana, d'Ambatobe et de Nanisana. A la sortie du marais Masay, les eaux parviennent dans le canal d'Andriantany. Entre les deux points, la décantation et l'auto-épuration sont remarquables.

II -2-2-4- Conclusion partielle

Les résultats des analyses d'eaux sont résumés dans les paragraphes suivants :

- Les eaux de **la zone I** semblent avoir une qualité biologique appréciable. Cependant, un traitement biologique de la matière oxydable est recommandé car le rapport DBO/DCO est inférieur à 0,2.
- Les eaux usées dans les trois zones (**zone I, zone II, zone III**) sont moyennement salines ($250 < \text{CE} < 750$). Le risque de salinité n'est pas à craindre, il n'y a aucun degré de restriction dans leur utilisation.



- Les eaux de chaque site apportent des éléments nécessaires au développement des plantes comme l'azote, le phosphore et le potassium. L'affluence des algues vertes et des azolas confirment la présence de ces éléments en grande quantité dans les sites, surtout dans la **zone II**.
- Les eaux usées des trois zones ont des valeurs très élevées en ions chlorures ($\text{Cl}^- > 10 \text{ méq/l}$). Leur degré de restriction à l'usage est sévère pour l'irrigation.
- Les eaux de chaque site présentent des concentrations en Na^+ inférieures à celles des ions Ca^{2+} et Mg^{2+} . Le risque de sodicité n'est pas à craindre mais il faudrait surveiller les effets à long terme des ions Na^+ sur la qualité des sols.
- Les suivis sur la qualité des eaux d'irrigation des canaux depuis Ambodirotra jusqu'au marais Masay montre que le phénomène d'auto-épuration, l'adsorption des certains éléments constitutifs des eaux par les sols, et la décantation jouent des rôles très importants sur l'amélioration de la qualité des eaux.
En outre, plus la distance parcourue est grande, plus la qualité des eaux usées s'améliore.
- Les cressonnières et les cressons jouent un rôle épurateur ; le passage des eaux usées dans ces milieux abaisse considérablement la valeur de certains paramètres.

II -3- CLASSIFICATION DES EAUX USEES PAR LE CALCUL DES CHARGES POLLUANTES :

Le calcul des charges polluantes des effluents domestiques est préconisé par l'extrait du cours de Madame Josette RAKOTONDRAIBE [13]. D'après ce cours, le degré de la pollution d'une eau est fonction du niveau de vie et du nombre d'individus qui l'utilise. Plus la population est élevée, plus la demande en eau s'accroît, plus les eaux usées augmentent et plus le degré de pollution de l'eau est important.

II -3-1- Principe

Toute pollution est d'origine anthropique. Ainsi, le calcul est basé sur la connaissance du nombre de population de la zone étudiée, et de ses environs qui pourraient déverser leurs rejets dans le même milieu.



Après collecte des données relatives à la population, on procède au calcul des charges polluantes. Les données sont affectées de coefficient, appelés coefficient de production unitaire de déchets⁽¹⁾, correspondant à chaque type de polluants considérés.

➤ Choix des paramètres

Les paramètres sélectionnés définissent les effluents domestiques. Il s'agit de la demande biochimique en oxygène (DBO), des Matières Solides en Suspension (MSS), de l'Azote N et du phosphore P.

II -3-2 – Méthodologie

Les données proviennent des enquêtes auprès des fokontany et des documents acquis auprès du Bureau de Développement d'Antananarivo (BDA). Les calculs sont basés sur les données recueillies de la monographie 2005 d'Antananarivo [4]. Une carte géographique de la ville d'Antananarivo a été utilisée pour repérer les différents fokontany qui déverse leurs rejets dans les sites étudiés.

II -3-3 – Résultats des calculs des charges polluantes

Tableau 23 : Valeur des charges polluantes dans les trois zones d'études

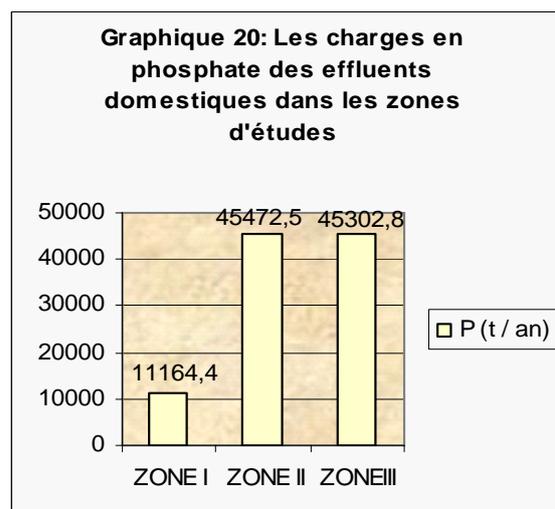
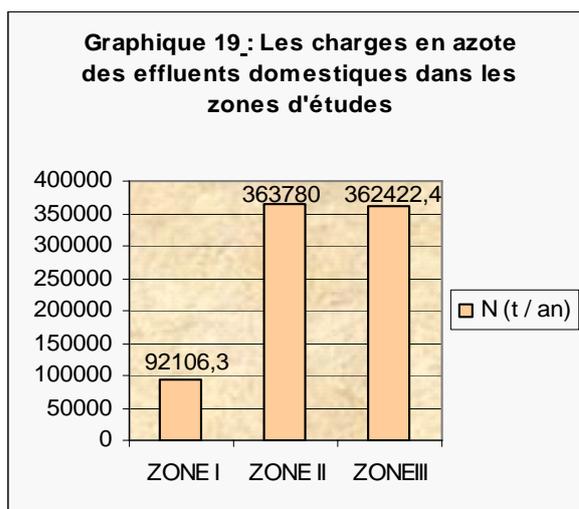
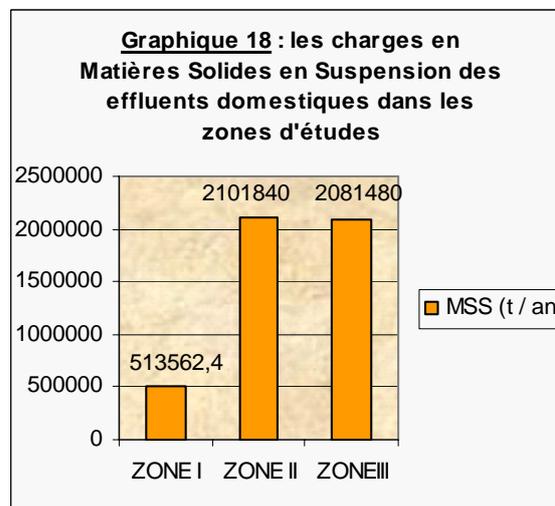
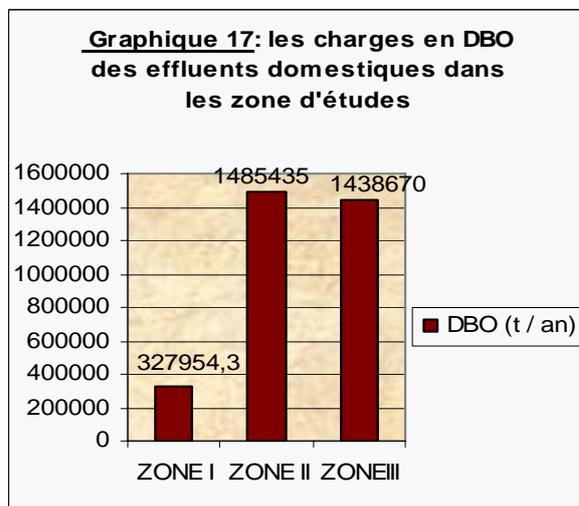
	Nombre de population	DBO t / an	MSS t / an	N t / an	P t / an
ZONE I	27 911	327 954,25	513 562,4	92 106,3	11 164,4
ZONE II	101 050	1 485 435	2 101 840	363 780	45 472,5
ZONE III	122 440	1 438 670	2 081 480	362 422,4	45302,8

Le nombre de population figure dans l'annexe I.

⁽¹⁾ coefficient de production unitaire de déchet : C'est la quantité totale de déchets (solides ou liquides) déversée dans l'environnement (soit directement, soit par l'intermédiaire des égouts municipaux ou du réseau de collecte et de traitement des déchets municipaux) par une personne et pendant une année dans une région déterminée.

II -3-4 – Interprétation et conclusion

Nous rapportons les résultats précédents à partir des graphes suivants.



Les valeurs des charges polluantes des effluents domestiques données en tonne par an, permettent de déduire que la population rejette des polluants, en très grande quantité, dans la nature. Ces polluants peuvent causer des problèmes sur l'environnement en modifiant par exemple la qualité physico-chimique du milieu récepteur.

Les effluents domestiques apportent en grande quantité de l'azote et du phosphore qui sont des éléments favorables au phénomène d'eutrophisation du milieu aquatique.

Si l'on compare les charges polluantes de chaque zone, on peut dire que **la zone II** est la plus polluée, suivie de **la zone III**.

Ce qui corrobore les résultats acquis par l'analyse physico-chimique des eaux usées.



Par contre, c'est dans la **zone I** qu'on observe les plus faibles valeurs. Les eaux pourraient convenir à l'irrigation moyennant des traitements comme l'élimination des chlorures, anions toxiques pour certaines plantes.





RECOMMANDATIONS

ET

PERSPECTIVES





Vu la qualité des eaux usées dans chaque site et la méconnaissance des agriculteurs des risques sanitaires et environnementaux dus à la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation, nous avons quelques recommandations et perspectives.

I – Recommandations

Les agriculteurs qui utilisent les eaux usées pour irriguer leurs champs n'ont aucune connaissance sur la qualité et les impacts de ces eaux sur la santé et l'environnement ; aucune formation ne leur a été donnée. Une campagne de sensibilisation et une formation seraient à faire à l'endroit des agriculteurs et peut être même des consommateurs.

Cette étude nous a permis de déduire que quelques paramètres concernant la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation dans la Commune Urbaine d'Antananarivo ne sont pas conformes aux normes. Ainsi, des traitements sont recommandés pour améliorer leur qualité avant des les réutiliser ou de les rejeter dans le milieu naturel.

Des références pour les qualités des eaux appropriées et des moyens de contrôle qui sont des facteurs limitants doivent être mis en place pour pouvoir consulter la qualité des eaux avant de les réutiliser.

Compte tenu de la qualité nutritionnelle des cressons, qui sont des plantes très cultivées dans les bas fonds de la CUA, un programme de valorisation de cette culture doit être réalisé pour pallier à la malnutrition des populations dans les pays en développement.

II - Propositions d'action

II -1- Organiser une campagne de sensibilisation et de formation

Les agriculteurs qui exploitent les terrains irrigués par des eaux usées brutes n'ont pas assez de connaissance sur les qualités et les effets néfastes sur les cultures, sur la santé, et sur l'environnement ; or ces zones ont une superficie plus importante dont l'exploitation pourrait bien être bénéfique pour eux et pour ceux qui consomment leurs produits.

Pour ce faire, une campagne de sensibilisation et de formation à l'endroit des agriculteurs est primordiale pour les convaincre des effets néfastes que produisent ces eaux. C'est aussi une occasion de les motiver à valoriser leurs terrains en leur exposant les résultats positifs qu'ils pourraient avoir.



II -2- Mis en place des systèmes de traitements

Avant de les rejeter dans la nature, les eaux usées doivent être épurées. C'est un procédé plus que nécessaire pour une gestion durable des ressources en eau.

L'épuration des eaux usées comprend deux phases :

- traitement primaire
- traitement secondaire

II -2-1- Le traitement primaire

Ce traitement consiste à éliminer toutes formes de pollution non solubles, des MES, des matières colloïdales après conditionnement. Il s'agit :

- ✓ du dégrillage, du tamisage (permet de déchiqeter les matières en suspension volumineuses)
- ✓ du désablage ou filtration sur sable
- ✓ du déshuilage, dégraissage par flottation
- ✓ de la décantation.

II-2-2- Le traitement secondaire

L'objectif de ce traitement est d'éliminer la quasi-totalité des matières organiques biodégradables (DBO, le carbone organique total ou COT) présent dans les eaux usées. Cette élimination se réalise grâce à la présence de micro-organismes dans ces eaux qui décomposent la matière organique biodégradable en résidus de biodégradation (éléments simples tels que le dioxyde de carbone, les nitrates, les phosphates,...).

Par ailleurs, cette réaction s'accompagne d'un accroissement de la biomasse en micro-organisme qu'il sera nécessaire d'éliminer (les boues). Ces boues seront, selon leur qualité, valorisées (épandage agricole). Ce traitement secondaire peut se faire soit en aérobie ou en anaérobie et le choix du traitement dépend de la nature du rejet liée à ses sources.

II -3- Mise en place des normes de qualité appropriées

La récupération et la réutilisation des eaux usées sont considérées de plus en plus comme un moyen d'augmenter les ressources en eau existantes. Ainsi, on pourra couvrir la demande croissante en eau qui est due à l'évolution démographique.



Pour les pays en développement où l'agriculture urbaine ou périurbaine joue un rôle très important dans le développement économique, la réutilisation de l'eau est un atout considérable. Cependant, on doit veiller à éviter les risques sanitaires et environnementaux.

A cet effet, L'Etat doit établir des normes de qualité des eaux usées, destinées à l'irrigation, en adoptant par exemple les normes déjà prescrites par les organismes comme l'OMS ou la FAO,.... Et dans le cas où les eaux usées ne respectent pas les normes, leur utilisation à l'agriculture peut être interdite. De ce fait, les procédés de traitement entrent en jeu.

De plus, l'Etat doit mettre en place un Laboratoire Centrale de Recherche des eaux qui répondrait aux besoins réels et actuels de tous les utilisateurs potentiels d'eau. Soulignons que malgré le nombre assez élevé de laboratoires susceptibles d'effectuer des analyses physico-chimiques d'eau à Madagascar, un même laboratoire ne peut effectuer en même temps toutes les analyses dont les usagers ont besoin. Et par manque d'informations, les usagers de l'eau ne savent pas toujours à qui s'adresser pour leurs demandes d'analyses.

Donc, ce laboratoire devrait pouvoir :

- disposer de son propre budget de fonctionnement afin de pouvoir s'équiper et fonctionner matériellement sans contrainte.
- effectuer tous types d'analyses se rapportant à l'eau, que celle-ci soit naturelle, résiduaire, industrielle ou autre.
- utiliser des méthodologies précises, fiables, et si possibles normalisées.

En outre, ce laboratoire devrait également être un centre d'information pour tout ce qui peut concerner la qualité de l'eau.

II -4- Valoriser la culture des cressons

Nous savons déjà que les cressons ont une forte valeur nutritionnelle et même des instituts de recherche malgache comme l'IMRA ⁽¹⁾ les utilisent comme ingrédients dans le produit « *CALCIUM MASY* ». Ainsi, nous devons valoriser cette culture en commençant par l'amélioration des méthodes de culture. Nous devons les cultiver dans des eaux appropriées (eau de source) qui seront contrôlées le plus souvent possible par des techniciens de l'eau.

⁽¹⁾ *IMRA : Institut Malgache de Recherches Appliquées*



Nous devons aussi former les cressiculteurs pour qu'ils puissent assurer la qualité de leurs produits.

La qualité des produits devrait être aussi contrôlée avant la vente aux consommateurs.

III – PERSPECTIVES

Nous pensons que les recommandations et les propositions d'action, déduites des résultats de nos investigations, pourraient être étudiées de plus près et appliquées afin de valoriser les eaux des marais.

Nous supposons que non seulement ces recommandations permettent de valoriser les eaux de marais et les terrains irrigués par ces eaux, mais elles contribuent aussi au développement du pays tant sur le plan social que sur le plan économique.

Sur le plan social, l'obtention d'eaux fiables permet d'avoir, non seulement des récoltes de bonne qualité, mais aussi un environnement sain qui aura sûrement des impacts positifs sur la santé publique et l'environnement

Sur le plan économique, l'application de ces suggestions augmentera les revenus des agriculteurs et valorisera les cultures maraîchères. Pour le gouvernement, elle contribuera à la réalisation du MAP.

CONCLUSION et RESUME



Antananarivo est une ville tropicale d'altitude. Les eaux de pluie entraînent les effluents agricoles et urbains surtout les eaux usées domestiques des hauts quartiers de la ville, et se déversent dans les marais situés dans les bas-fonds. Ces effluents sont l'origine de la pollution de l'eau.

On peut dire que les déversements polluants dues aux actions humaines peuvent modifier les composantes physico-chimiques des milieux récepteurs, ainsi que les biocénoses qui les peuplent, jusqu'à dégrader leur qualité.

Les eaux polluées sont réutilisées pour l'irrigation partout dans le monde. Seulement, pour les pays développés, des réglementations strictes pour l'usage agricole des eaux usées sont adoptées. Ses normes sont proposées par les organismes internationaux comme l'OMS et la FAO pour promouvoir la qualité du sol, de l'eau et des récoltes. La réutilisation des eaux usées est un des facteurs de développement des pays riches. Pour les pays en développement, comme Madagascar, la réutilisation des eaux usées est une pratique courante. Cependant, les agriculteurs n'effectuent aucun traitement et ne sont guère conscients des contraintes sanitaires et environnementales.

Ce qui nous a amené à étudier trois périmètres agricoles de la Commune Urbaine d'Antananarivo irrigués par les eaux usées de la ville. Nous avons choisi comme zone d'étude les marais du fokontany d'Ambodirotra-Antsakaviro (zone I), du fokontany d'Anjanahary (zone II), du fokontany d'Andravoahangy tsena (zone III). Elles sont reliées par un canal dont la source se trouve à Tsiadana et le terminus au marais Masay. Ces zones produisent les cressons vendus dans les marchés d'Antananarivo et des provinces malgaches.

Afin d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux, des enquêtes ont été menées auprès des cressiculteurs ; des échantillons d'eau ont été prélevés dans chaque zone ; des analyses sur terrain et en laboratoire ont été effectuées. Nous avons constaté que la zone II est la plus polluée suivie de la zone III ; la zone I pourrait convenir à l'irrigation.

Nous pouvons conclure que les eaux usées subissent des transformations au cours de leur passage dans les cressonnières. A la sortie des sites cressonnières, l'eau devient plus claire. Elle est plus propre du point de vue biologique et minéral.



Nous pouvons penser que les sols, le phénomène d'autoépuration et peut être même les cressons jouent des rôles épurateurs remarquables.

Nous avons vérifié les résultats des analyses par le calcul. Nous avons remarqué que plus la population est élevée, plus la demande en eau s'accroît, plus le degré de pollution de l'eau est important.

Le présente mémoire nous permet de suggérer aux autorités publiques d'établir des lois conformes au processus de traitement des eaux usées avant leur réutilisation. Une campagne de sensibilisation, une formation à l'endroit des agriculteurs et des consommateurs est aussi à recommander. Les agriculteurs pourront ainsi valoriser les eaux de marais et les terrains irrigués par les eaux usées. Ce projet serait un atout pour le développement social, économique et environnemental. Le traitement des eaux usées est un des facteurs de développement des pays avancés, alors pourquoi-pas pour Madagascar ?

PARTIE

EXPERIMENTALE



MODE DE PRELEVEMENT

✓ Matériel :

Bouteilles en plastiques (1,5L). Usage assez répandu en raison des facilités pour le transport et la possibilité d'usage unique. L'utilisation de flacons métalliques est déconseillée en raison des problèmes de corrosion. Nous avons donc choisi de préférence utilisé les bouteilles d'eau vive ou olympico pour les prélèvements.

✓ Prélèvement :

Au moment du prélèvement, rincer la bouteille trois fois avec de l'eau à analyser puis remplir jusqu'au bord. Le bouchon doit être bien fermé pour ne laisser aucune bulle d'air et de telle façon qu'il ne soit éjecté au cours du transport.

Si il est nécessaire de se servir d'un vase intermédiaire pour le prélèvement, ce vase sera au préalable lavé et rincé soigneusement.

Pour une rivière : plonger la bouteille à 50cm du fond et de la surface, assez loin des rives, des obstacles naturels, en dehors des zones mortes ou des remous, en évitant la remise en suspension des dépôts.

✓ Transport et conservation :

Le prélèvement devra subir un certain temps de transport et d'attente au laboratoire avant de les analyser. Durant cette période, des transformations pourront se produire (précipitation, photodécomposition, adsorption sur les parois des récipients...). Il faudra donc réunir les conditions de température et d'obscurité favorables pour minimiser ces phénomènes. En général, le transport à 4°C et à l'obscurité dans des emballages isothermes permet d'assurer une conservation satisfaisante. Pour faciliter le travail de l'analyste et pour éviter les erreurs, il faut numéroter chaque prélèvement.

MODE OPERATOIRE



CHLORURES

Méthode de Mohr

✓ Principe

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

✓ Réactifs

- Solution de Chromate de potassium 10 %
- Solution de Nitrate d'argent N/10

✓ Mode opératoire

Introduire 100 ml d'eau à analyser, préalablement filtrée, dans un erlenmeyer de 250 ml. Ajouter 3 gouttes de solution de Chromate de potassium 10%. (Apparition d'une coloration jaune).

Verser alors au moyen d'une burette, la solution de Nitrate d'argent N/10, jusqu'à apparition d'une teinte rougeâtre qui doit persister 1 à 3 minutes.

Soit V le nombre de ml de nitrate d'argent N/10 utilisé.

✓ Expression des résultats

Pour une prise d'essai de 100 ml

- $V \times 10 \times 3,55$ donne la teneur en chlorures, exprimée en milligrammes de chlorure par litre d'eau.
- $V \times 10 \times 5,85$ donne la teneur en chlorures exprimée en milligrammes de NaCl par litre d'eau.



NITRATES

Méthode au Salicylate de sodium

En présence de Salicylate de sodium, les Nitrates donnent du paranitrosalicylate de sodium, coloré en jaune et susceptible d'un dosage colorimétrique.

✓ Réactifs

- Solution de Salicylate de sodium à 0,5%, à renouveler toutes les 24h.
- Acide sulfurique concentré ($d = 1,84$)
- Solution d'Hydroxyde de sodium et de Tartrate double de sodium et de potassium.
 - Hydroxyde de sodium 400g
 - Tartrate double de sodium et potassium 60g
 - Eau distillée 1000ml

Faire dissoudre les sels dans de l'eau. Laisser refroidir et compléter à 1000ml. Conserver dans un flacon en polyéthylène.

✓ Mode opératoire

Mettre 10ml d'eau à analyser, préalablement filtrée dans un erlenmeyer de 125ml.

Ajouter 1ml de solution de Salicylate de sodium 0,5%. Bien mélanger.

Mettre sur plaque chauffante jusqu'à obtention d'un résidu blanc.

Reprendre le résidu par 2ml d'Acide sulfurique concentré. Bien mélanger.

Attendre 10mn.

Ajouter 15 ml d'eau distillée et 15ml de solution d'Hydroxyde de sodium et de Tartrate double de sodium et de potassium. Obtention d'une coloration jaune.

Lecture sur spectromètre à une longueur d'onde 415nm.

NB : faire un essai à blanc.

AMMONIUMS



Indophenol blue method.

✓ Réactifs

- Solution d'EDTA (EthylenDiamineTetraAcetic Acid)
- Solution de Nitroprussiate-phénol
 - 7g Phénol
 - 34mg Nitroprussiate de sodium
 - 80ml d'eau sans NH_4^+

Diluer le tout à 100ml et conserver dans une bouteille à couleur sombre au réfrigérateur.

- Solution tampon

✓ Mode opératoire :

Dans une fiole de 25ml, mettre 10ml d'eau à analyser préalablement filtrée.

Ajouter 1ml de la solution de EDTA.

Bien mélanger et laisser au repos pendant une minute.

Ajouter ensuite 2ml de la solution de Nitroprussiate-phénol et 4ml de la solution tampon.

Ajuster avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Bien mélanger et bien fermer la fiole.

La mettre dans un bain-marie à 40°C pendant 30mn.

Après refroidissement, faire la lecture au spectromètre à la longueur d'onde de 435 nm.



MATIERE ORGANIQUE

✓ Principe

L'opération consiste à mesurer en milieu alcalin, la quantité enlevée au Permanganate par les matières organiques, d'origine animale ou végétale, contenues dans une eau.

✓ Matériels et réactifs utilisés

- Burette, bēcher, fiole jauger.
- Solution saturée de NaHCO_3 , KMnO_4 N/80, H_2SO_4 , sel de Mohr 5g/l.

✓ Mode opératoire

Prélever 100ml d'eau à analyser, ajouter 5ml de NaHCO_3 saturé, porter à l'ébullition.

Ajouter 10ml de KMnO_4 N/80, porter à l'ébullition pendant 10 mn.

Laisser refroidir, ajouter 5ml de H_2SO_4 et 10ml de Mohr.

Titrer avec KMnO_4 jusqu'à apparition d'une coloration rose persistante.

Soit V_1 le volume de KMnO_4 verser pour ce dosage.

Recommencer les mêmes opérations avec de l'eau distillée.

Soit V_2 le volume final verser.

✓ Expression des résultats

L'oxydabilité des matières organiques au Permanganate, exprimée en mg/l d'oxygène est égale à $V_1 - V_2$.

SULFATES



✓ Principe

Les sulfates sont précipités en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum. Le précipité ainsi obtenu est stabilisé à l'aide d'une solution de tween 20 ou de polyvinylpyrrolidone, des suspensions homogènes sont mesurées au spectromètre.

✓ Réactifs

Solution de HCl 1/10 N solide de tween 20 à 25% ou de PVP.

Solution de chlorure stabilisée.

BaCl₂ 10g/solution de tween 20, 20ml ou 5ml de PVP

Eau distillée.

✓ Mode opératoire

Dans un tube à essai, introduire successivement

39ml d'eau à analyser, 1ml de HCl et la solution de BaCl₂ + tween 20 ou BaCl₂ + PVP.

Préparer dans les mêmes conditions un tube témoin, en remplaçant l'eau à analyser, par de l'eau distillée.

Agiter énergiquement et laisser reposer 15 mn.

On fait la lecture au spectromètre de longueur d'onde 650 nm.

CALCIUM

✓ Principe

Le calcium est dosé par la méthode au complexon III. L'indicateur utilisé est le purpurate d'ammonium ou le murexide.

✓ Mode opératoire

A une prise d'essai de 100ml, on ajoute 5 ml de soude 2N et une pincée de murexide. On titre le complexon III N/50 jusqu'à virage au violet.

Si V est le volume de complexon III, nécessaire au dosage, la teneur en Calcium est V°F.

Cette teneur en Calcium est appelée « dureté calcique ».

MANGNESIUM



La teneur en Magnésium est donnée par la différence :
Dureté totale – dureté calcique.

TURBIDITE

✓ Principe

Mesure de l'intensité de lumière diffractée par les particules en suspension dans l'eau.

✓ Mode opératoire

Rincer la cuve turbidimétrique avec de l'eau à analyser, la remplir avec précaution pour éviter la formation de bulles d'air.

Essuyer la cuve pour effacer toutes traces de doigts.

Effectuer la mesure en choisissant la bonne gamme.

Unité en NTU

LES IONS Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , et Na^+

✓ Principe

Les ions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , et Na^+ sont extraits par l'acétate d'ammonium 1N (NH_4OAc).

✓ Mode opératoire

On prend 10 ml de l'échantillon de l'eau à analyser et 40ml d'acétate d'ammonium 1N dans un erlenmeyer de 125 ml.

Après une heure de repos, on verse le contenu de l'erlenmeyer dans un bûcher de 8 mm de diamètre, adapté à une fiole à vide et garni d'un papier filtre.

Ajuster le volume jusqu'au trait de jauge par l'acétate.

Déterminer la concentration en Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , et Na^+ par l'Atomic Absorption Spectrometer 1100 B (Perkin – Elmer).

✓ Expression des résultats

On lit sur le spectromètre les valeurs des ions. Les valeurs sont exprimées en méq/100g.

DEMANDE BIOCHIMIQUE EN OXYGENE



✓ Principe

La mesure de la DBO est utilisée, pour apprécier la quantité d'oxygène consommé par les bactéries oxydant les matières organiques dans un échantillon. Cette mesure est l'analyse la plus couramment utilisée pour mesurer la charge polluante dans les stations d'épuration et pour évaluer l'efficacité d'épuration. Elle est conduite pendant une période de 5 jours, habituellement à 20°C dans un environnement contrôlé.

✓ Mode opératoire

Utiliser une éprouvette graduée propre pour mesurer le volume d'échantillon désiré (suivant les gammes de DBO) dans un flacon brun. L'échantillon doit être réchauffé ou refroidi jusqu'à moins de 20°C avant d'être mesuré.

A l'aide de l'entonnoir, vider le contenu d'une gélule d'hydroxyde de lithium dans chaque cupule dans le goulot de chaque flacon. Ne pas laisser des particules d'hydroxyde de lithium tomber dans l'échantillon. Si cela se produit, l'échantillon doit être éliminé et un nouveau doit être préparé.

Placer le flacon sur l'appareil. Mettre le moteur en marche en branchant la prise électrique.

Les bouchons des manomètres étant ouverts, visser légèrement les flacons. Ne pas les serrer.

Placer l'appareil dans un incubateur dont la température recommandée est de 20°C.

Attendre environ 30 mn pour atteindre l'équilibre de température. Dévisser les bouchons des flacons. Serre lentement les bouchons des manomètres et visser les bouchons des flacons.

Lire directement les résultats après 5 jours.

<u>Gamme de DBO</u>	<u>Volume nécessaire</u>
▪ 0 – 35 mg/l	420 ml
▪ 0 – 70 mg/l	365 ml
▪ 0 – 350 mg/l	160 ml
▪ 0 – 700 mg/l	95 ml

DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGENE



✓ Principe

La demande chimique en oxygène est la quantité d'oxygène consommé par les matières organiques et matières oxydables dans certaines conditions.

Il s'agit de l'oxydation des matières organiques et matières minérales contenues dans un échantillon, par un excès de bichromate de potassium, en milieu acide et en ébullition, sous reflux pendant deux heures, en présence de sulfate mercurique (complexant des chlorures) et de sulfates d'argent (catalyseur). Puis dosage de l'excès de bichromate par une solution de sel de Mohr (sulfate de FerII et de d'ammonium). Les limites de détection de dosage de la DCO sont de 50 à 900 mg/l. au dessus de 900 mg/l, procéder à une dilution préalable.

✓ Réactifs

- Sulfate de mercure II en poudre
- Sulfate d'argent en solution dans H₂SO₄
- Acide sulfurique
- Solution de sel de Mohr à 0,25 N
- Solution de bichromate de potassium 0,25 N
- Eau distillée
- Ferroïne

✓ Mode opératoire

Prélever un échantillon de 10cc et de la solution de bichromate, 15cc de sulfate d'argent et une pincée de sulfate mercurique.

Agiter pour bien homogénéiser et ajouter une ou deux pierres ponce avant de mettre à chauffer.

Installer le reflux. Compte tenu du dosage en retour, il faut être sûr que le bichromate est en excès mais pas trop.

Comme on ne peut pas changer les quantités de bichromate, on sera amené à effectuer plusieurs dilutions de l'échantillon.



Récupérer l'ensemble avec précaution sans hâte au bout de deux heures de chauffage en rinçant et rassemblant tous les résidus. Laisser refroidir un peu avant de manipuler le système.

Compléter à environ 75ml d'eau distillée l'échantillon. Titrer l'excès de bichromate avec le sel de Mohr en ajoutant dans la solution à titrer 2 gouttes de Ferroïne qui joue le rôle d'indicateur coloré. Le dosage sera effectué jusqu'au virage rouge orangé.

Puis on procède aux mêmes opérations avec 10 ml d'eau distillée considérée comme essai à blanc.

✓ Mode de calcul

$$DCO = \frac{800 \times C \times (V_1 - V_2) \text{ mg d'O}_2 / \text{l}}{V_0}$$

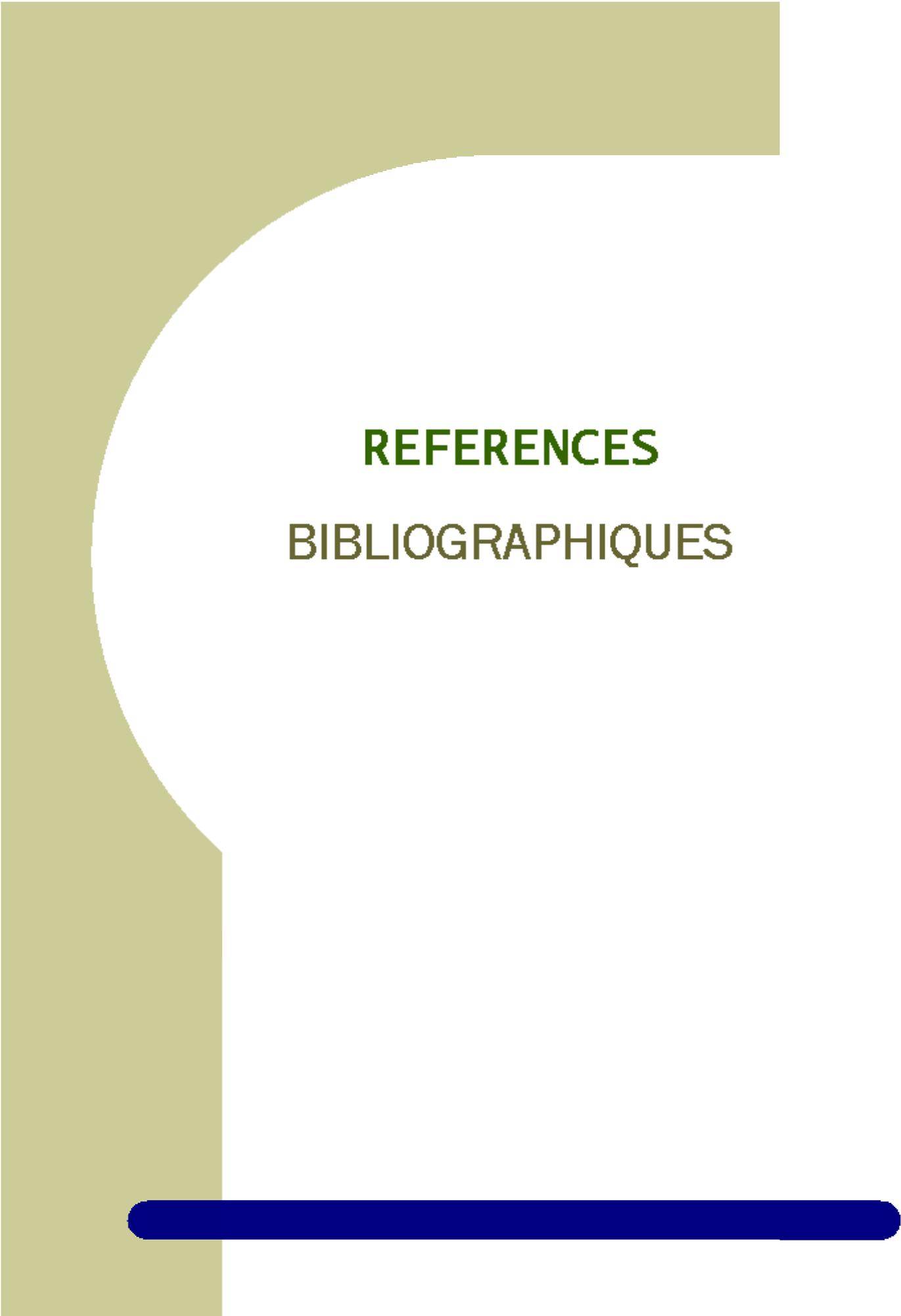
Où

C: Concentration de sel de Mohr (C= 0,125 mol / l)

V₀: Volume de la prise d'essai (ml)

V₁: Volume du sel de Mohr pour l'essai à blanc (ml)

V₂: Volume du sel de Mohr pour l'eau à analyser (ml)



REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Agence de l'eau Rhin Meuse 2005,
http://www.eau.rhin_meuse;fr/patrimoine/pollu/po102.htm
- [2] Alène Mernisien, Gourdurana Editions, Guide pratique «un jardin tropical ».
- [3] Arnaud Collin, novembre 1995, ORSTOM, U.R « Environnement et Santé », programme « Recherche Appliquées à Madagascar sur la Santé et l'Environnement » (R.A.M.S.E), CNRE, « Expertise dans le cadre de la qualité de l'eau, Section 3 : l'eau ».
- [4] Bureau de Développement d'Antananarivo (BDA), « Monographie d'Antananarivo 2005 ».
- [5] C. Brower et A. Goffeau, M. Heibloem, FAO 1987, « Introduction à l'irrigation », Gestion des eaux en irrigation, manuelle de formation N°1
- [6] Dégrémont, 1989, Mémento technique de l'eau.
- [7] <http://www.lenntech.com/fran%C3%A7ais/irrigation.htm>
- [8] J. Bontoux, 1983, « Introduction à l'étude des eaux ».
- [9] J.R. Vaillant, Paris 1974, «Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux usées résiduares ».
- [10] Mémento de l'Agronome, Reproduction PPI.
- [11] Ministère de l'Agriculture, avril 2001, « Monographie de la région d'Antananarivo », Direction Inter-Régionale d'Agriculture (DIRA).
- [12] Ministère de l'Environnement, décret N° 2003/464 du 15/04/03.
- [13] Extrait du cours de Madame Josette RAKOTONDRAIBE en AEA, année 2005 - 2006
- [14] Rakotoarinjanahary Henry, Razakafoniaina Tovoniaina N., Kaderbay Batoul, Rainaivoson Eulalie V, CNRO- OMS / AFRO 1994, « Inventaire des sources de pollution et quantité des polluants à Madagascar ».
- [15] Robert Morris and Dr. Dale Devitt, "Sampling and interpretation of landscape irrigation water", University of Nevada,
<http://www.lentech.com/fran%C3%A7ais/data-perio.htm>
- [16] Rodier J., 1984, « Analyse de l'eau ».

ANNEXES



ANNEXE I

Liste des fokontany et les nombres de population rejettent des eaux usées dans la zone I

Code du fkt	Noms des fokontany qui rejettent des eaux usées dans la zone	Superficie (en m ²)	Nombre total de ménages	Population
2_05	Tsiadana	623 597,78	2500	11601
2_09	Antanimora-Ampasanimalo	356 239,62	819	3422
2_20	Antsahabe-Ankorahotra-Ankazotokana	134 743,91	998	3160
3_02	Ambodirotra-Antsakaviro	214 880,41	411	3515
3_06	Ampahibe	603 910,31	1464	6213
TOTAL :	5	1 933 372,04	6 192	27 911

TABLE DE CONVERSION DE LA CONCENTRATION :

Passage de mg/l en méq/l

Soit X l'espèce chimique considérée

C_x : sa concentration exprimée en mg/l

C'_x : sa concentration exprimée en méq/l

M_x : sa masse molaire indiquée sur la table périodique des éléments chimiques

V : sa valence c'est-à-dire sa charge ionique

(V=1 pour les chlorures, V=2 pour les calcium,...)

On a la relation suivante :



Liste des fokontany et les nombres de population qui rejettent leurs eaux usées dans la zone II

Code du fkt	Noms des fokontany qui rejettent des eaux usées dans la zone	Superficie (en m ²)	Nombre total de ménages	Population
2_05	Tsiadana	623 597,78	2500	11601
2_09	Antanimora-Ampasanimalo	356 239,62	819	3422
2_20	Antsahabe-Ankorahotra-Ankazotokana	134 743,91	998	3160
3_02	Ambodirotra-Antsakaviro	214 880,41	411	3515
3_05	Aambohitrakely	602 261,14	1946	8160
3_06	Ampahibe	603 910,31	1464	6213
3_07	Ampandrana Andrefana	77 046,67	650	2608
3_08	Ampandrana Atsinanana	127 702,19		4010
3_09	Ampandrana-Besarety	139 439,04	801	3918
3_12	Andravoahangy Atsinanana	95 253,88	1150	5186
3_16	Ankadivato II L	95 240,98	199	1131
3_21	Antaninandro-Ampandrana	100 050,61	690	3156
3_22	Avaradoha	189 737,80	1300	8045
3_27	Besarety	93 963,56	1036	4244
3_28	Betongolo	269 372,15	1191	5587
3_29	Mahavoky	101 753,10	702	5006
3_33	Soavinandriana	136 447,28	663	2444
5_16	Anjanahary II N	313 029,14	2039	12525
5_17	Anjanahary II O	123 016,38	1602	7119
TOTAL :	19	4 397 685,95	20 161	101 050

Liste des fokontany et les nombres de population qui rejettent leurs eaux usées dans la zone III

Code du fkt	Noms des fokontany qui rejettent des eaux usées dans la zone	Superficie (en m ²)	Nombre total de ménages	Population
2_05	Tsiadana	623 597,78	2500	11601
2_09	Antanimora-Ampasanimalo	356 239,62	819	3422
2_20	Antsahabe-Ankorahotra-Ankazotokana	134 743,91	998	3160
3_02	Ambodirotra-Antsakaviro	214 880,41	411	3515
3_05	Ambohitrakely	602 261,14	1946	8160
3_06	Ampahibe	603 910,31	1464	6213
3_07	Ampandrana Andrefana	77 046,67	650	2608
3_08	Ampandrana Atsinanana	127 702,19		4010
3_09	Ampandrana-Besarety	139 439,04	801	3918
3_11	Andravoahangy Andrefana	56 574,77	498	2488
3_12	Andravoahangy Atsinanana	95 253,88	1150	5186
3_13	Andravoahangy Tsena	175 664,91	462	2201
3_16	Ankadivato II L	95 240,98	199	1131
3_21	Antaninandro-Ampandrana	100 050,61	690	3156
3_22	Avaradoha	189 737,80	1300	8045
3_27	Besarety	93 963,56	1036	4244
3_28	Betongolo	269 372,15	1191	5587
3_29	Mahavoky	101 753,10	702	5006
3_30	Mandialaza-Ambatomitsangana	38 769,94	550	2185
3_31	Mandialaza-Ambodivona	81 282,53	615	2421
3_32	Mandialaza-Ankadifotsy	73 766,76	415	5595
3_33	Soavinandriana	136 447,28	663	2444
5_16	Anjanahary II N	313 029,14	2039	12525
5_17	Anjanahary II O	123 016,38	1602	7119
5_18	Anjanahary II S	166 998,31	1807	6500
TOTAL :	25	4 990 743,18	24 508	122 440

ANNEXE II

Le cresson et la santé du corps



Les vertus pharmaceutiques de cette plante tant pour les humains que pour les animaux étaient connues dès l'Antiquité. Par exemple, cette plante était déjà réputée **chez les Romains** qui en mangeaient de grandes quantités, notamment parce qu'ils croyaient qu'elle pouvait « **prévenir la calvitie et stimuler l'activité de l'esprit** ». Quant **aux Grecs**, ils affirmaient que le cresson pouvait « **redonner raison aux esprits dérangés** » et « **atténuer les effets de l'ivresse** », d'où son emploi général dans les banquets.

Outre ses qualités gustatives, le cresson possède en effet une très forte valeur nutritionnelle. Pauvre en calories, c'est l'un des légumes verts les plus riches en vitamine C (plus qu'une orange), en calcium (3 fois plus qu'une laitue et 19 fois plus qu'une tomate), en magnésium, en potassium et en fer (4 fois plus que la laitue ou la tomate). De ce fait, il est un aliment de choix pour prévenir l'anémie et le scorbut.

La présence des dérivées soufrées comme les thioglucosides, qui se transforment en isothiocyanate de phenyl-ethyl sous l'action d'une enzyme dans la plante (la myrosinase), explique la saveur piquant des cressons. Ainsi, il présente des teneurs en soufre non négligeables.

Composition du cresson

Apport énergétique : 17kcal = 71kJ

COMPOSANT	%
Eau	93,1
Glucides	2,5
Protides	1,5
Lipides	0,3
Fibres	2,0

MINERAUX	mg/100g	VITAMINES	mg/100g
Potassium	304	Vitamine C	60
Phosphore	53	Provitamine A	2,9
Bore	0,1	Vitamine B1	0,1
Soufre	130	Vitamine B2	0,1
Calcium	160	Vitamine B3	0,4
Zinc	0,4	Vitamine B6	0,1
Magnésium	20	Vitamine K	0,25
Cuivre	0,1	Vitamine E	1,2

Les cressons possèdent ces qualités citées ci-dessus à condition qu'ils soient bien cultivés au bon endroit. Les cressons ayant poussé dans des eaux stagnantes ou dans des eaux polluées abritent un dangereux parasite, la douve du foie, à l'origine de maladies hépatobiliaires quand elle s'installe dans cet organe. De plus, l'eau polluée peut être contenir des bactéries comme les coliformes fécaux, les streptocoques,... qui sont toutes des sources des diverses maladies.

En France, par exemple, les produits pour la consommation sont dites « de source », car l'eau utilisée pour la culture provient obligatoirement d'une source dont la qualité est contrôlée deux fois par an par la Direction Départementale de l'Action Sanitaire et Sociale (DDASS).

Dans le cas de notre pays, l'eau utilisée pour irriguer la culture provient des eaux usées urbaines qui ne subissent aucun traitement convenable. Il n'existe pas des organismes qui sont chargés de contrôler leur qualité.

CALCIUM



MASY

Institut Malgache de Recherches Appliquées

Tél/Fax: 22 381 88 - E-mail: soamadi@wanadoo.mg

BP: 3833 - Antananarivo 101 - MADAGASCAR

Le Calcium Masy est spécialement préparé à partir des aliments malgaches, riches en calcium naturel assimilable (Amaranthe, mûrier, cresson, lait de zébu)

Composition: 100g de poudre Calcium Masy contient :

- Calcium assimilable.....	10 g
- Sels minéraux (Phosphore, Mg, K, Fe, S).....	5 g
- Vitamine A.....	1 000 U1
- Groupe B.....	2m g
- Groupe C.....	5m g
Pantothénate de Calcium.....	1m g
PP, Acide Folique, F.....	1m g
D.....	50 gammas
- Protides.....	30 g
- Glucides, dont 10g saccharose et 10g Lactose.....	30 g
- Lipides.....	25 g

Indications générales

Spasmophilie, troubles du système neurovégétatif endocrinien, tétanie, asthénie, convalescence, consolidation fracture, arthrose, tendance à l'hémorragie.

Adolescents et enfants

Malnutrition, rachitisme, période de croissance

Adultes

Carence en calcium, grossesse, allaitement.

Viellards

Ostéoporose, déminéralisation osseuse.

Posologie.

Une petite cuillerée rasée avant ou pendant chaque repas dans un demi verre d'eau, de lait ou de bouillon

Pour bébé

Une petite cuillerée rasée dans le biberon du matin et du soir.

LOT : 06 3 30 7

AOÛT 2008

Imprimerie 2000

NOM : ANDRIANARISON
PRENOMS : Tsirilalaina Rado
Adresse : lot II E 33 FJ Ambohidahy – Ankandindramamy Tanà 101
E-mail : tsiry_rado@yahoo.fr **Tél.** : 0331205286
TITRE : *Caractéristiques des eaux de marais dans la Commune Urbaine d’Antananarivo*
Laboratoire d’accueil : *Chimie de l’environnement*

RESUME

Les analyses des eaux usées présentes dans les trois marais ont montré que la qualité physico-chimique s’améliore à la sortie de chaque site. Les calculs des charges polluantes ont permis d’apprécier le degré de pollution des eaux qui est fonction du nombre de la population riveraine.

En se référant à la directive d’interprétation de la qualité des eaux d’irrigation de surface, « le degré de restriction à l’usage est sévère ». Ceci est du au taux de chlorure élevé.

Mots clés : *pollution, réutilisation, eaux usées, irrigation*

SUMMARY

Waste water analysis of the three marshes showed that the physical and chemical quality gets better at the exit of each site. Polluting charge results allowed to appreciate degree of water which depends on the number of the riparian population.

According to the directive for the interpretation of water irrigation quality, “the restriction degree of its use is severe” due to its high amount of chlorure.

Key words: *pollution, reuse, waste water, irrigation*

Encadreur : *Dr Josette RAKOTONDRAIBE*
Professeur Titulaire
Responsable de la formation doctorale en Chimie de l’Environnement