

# Listes des abréviations

---

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

FTM: Foibe Tao-tsaritanin'i Madagascar

GPS: Global Positioning System

pH : potentiel hydrogène

Fe: Fer

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> : ion sulfurique

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: ion ammonium

NO<sub>2</sub>: nitrite

NO<sub>3</sub>: nitrate

Mg : magnésium

Na : Sodium

HCO<sub>3</sub> : acide carbonique

CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> : ion carbonate

Ca: calcium

Meq : masse équivalent

DEXO : direction de l'exploitation eau

# Sommaire

---

Introduction.....	8
Partie 1 : Méthodologie .....	11
1.1 Problématique .....	12
1.2 Présentation de la zone d'étude .....	13
1.3 Démarche de l'étude .....	17
Partie 2 : Présentation des résultats .....	35
1.1 Evolution de la quantité de la ressource en eau du lac Lohazozoro .....	36
1.2 Evolution de la qualité de la ressource en eau du lac Lohazozoro .....	41
1.3 Vérification des hypothèses .....	45
Partie 3 : Discussion .....	46
1.1 Discussion par rapport aux données disponibles et à la méthode de travail... 47	
1.2 Discussion par rapport aux résultats .....	48
Partie 4 : Recommandations et perspectives.....	50
1.1 La mise en place de périmètre de protection .....	51
1.2 La rationalisation de la ressource en eau .....	54
1.3 Le traitement de l'eau .....	54
1.4 Le plan d'action .....	55
Conclusion .....	59
Bibliographie .....	61
Annexes .....	66

# Liste des tableaux

---

Tableau 1: débits des micro-basins.....	24
-----------------------------------------	----

Tableau 2: aires des terrains de plantation.....	26
Tableau 3: Variation mensuelle de la demande en eau.....	27
Tableau 4: besoins en eau élevage.....	27
Tableau 5: Quantité apporté par les bassins versants .....	30

## Liste des figures

---

Figure 1: Bassin versant de Vontovorona FTM (1/100000).....	14
Figure 2: Vues sous WEAP 21 .....	21
Figure 3: limites des micro-bassins versant de Lohazozoro.....	22
Figure 4: représentation de la zone d'étude sous le logiciel WEAP 21 .....	23
Figure 5: débits mensuel du bassin versant .....	24
Figure 6: Evolution du volume d'eau du Lac Lohazozoro.....	36
Figure 7: Les mois de problèmes d'eau.....	37
Figure 8: Recouvrement des demandes agricoles.....	38
Figure 9: Recouvrement de la demande de la population.....	39
Figure 10 : Demande dans scénario Europe .....	40
Figure 11: Volume au niveau du lac dans scénario Europe.....	40
Figure 12: Evolution de la concentration en magnésium du lac Lohazozoro.....	41
Figure 13: Evolution de la concentration en matière organique (mg/l).....	42
Figure 14: Evolution de la concentration en nitrate.....	43
Figure 15: Etat global de la ressource (recouvrement).....	43
Figure 17: les mois de forte pollution.....	44
Figure 18: Génération de pollution.....	44

## Introduction

---

D'après l'Agenda 21<sup>1</sup>, l'eau est un élément essentiel pour la vie et les activités de l'Homme. « L'eau est nécessaire à tous les aspects de la vie. L'ensemble de la population de la planète doit disposer en permanence d'un approvisionnement suffisant en eau de bonne qualité tout en préservant les fonctions hydrologiques, biologiques et chimiques des écosystèmes, en adaptant les activités humaines à la capacité limite de la nature et en luttant contre les vecteurs des maladies liées à l'eau. » Ainsi, l'eau à distribuer à la population doit être de quantité suffisante et doit répondre à des normes de qualité. Une analyse de l'évolution de celle-ci a sous ces deux aspects est nécessaire afin d'utiliser la ressource en eau d'une manière pérenne.

Plusieurs recherches ont été effectuées à Madagascar et dans le monde en matière d'approvisionnement en ce qui concerne la domaine de la ressource en eau . Ces études concernent la quantification de la ressource en eau exploitable, disponible, ou celles qui concernent les demandent en eau par les activités humaines et l'Homme.<sup>2</sup> Par rapport à l'étude de la qualité des ressources exploitables, des investigations ont été faites au niveau des sources de pollution, des quantités de pollution émises, des éléments polluants et des impacts de ces polluants<sup>3</sup>. Afin de localiser les études, plusieurs chercheurs ont effectués leurs analyses de la ressource en eau par rapport au bassin versant<sup>4</sup>. Plus particulièrement, l'alimentation en eau de la grande ville d'Antananarivo et ses périphéries qui ont fait l'objet de nombreux mémoires.<sup>5</sup> L'étude du lac Lohazozoro en tant que ressource en eau exploitable par la JIRAMA a fait l'œuvre d'investigations<sup>6</sup> notamment pour le renforcement en eau des zones suburbaines de la ville. Mais une analyse de la ressource et de son évolution n'a pas encore été effectuée. Ainsi, la problématique de la recherche est : quelle sera l'évolution de la ressource en eau au niveau du lac Lohazozoro ? En prenant en compte les deux aspects de la ressource en eau, on propose les deux hypothèses de réponse suivante :

---

<sup>1</sup> Conférence de Rio de Janeiro sur l'Environnement et le Développement du 14 juin 1992 (Agenda 21)

<sup>2</sup> (HUGONIN 2011)(AUGERAUD et TOUATY 2002)(Code de l'Eau 1999)(FAO 2006)

<sup>3</sup> (AHMED 2007)(ALBINET et MARGAT 1971)(ANDRIANASY et RAKOTONANDRASANA 2013)(BOHRER et ANDRIAMANAMPY RAKOTOZAFY 1976)(BOMMELAER et DEVAUX 2011)

<sup>4</sup> (AMBROISE 1998)(REMENIERAS 1960)

<sup>5</sup> (RAISSA et RABEHERIMINO 2013)(COMBES et all. 2012)

<sup>6</sup> (RAKOTORAHALAHY 2011)(RATIARISON 2012)(RAISSA et RABEHERIMINO 2013)

Hypothèse 1 : « sur la base du système d'exploitation et des projections d'utilisation de l'eau, le volume de la ressource en eau au niveau du lac Lohazoro va diminuer et ne pourra plus satisfaire les besoins de la population environnante/ envisagée»

Hypothèse 2 : « vis à vis l'état actuel du bassin versant et des pollutions, la qualité de l'eau va se dégrader : les paramètres de la qualité de la ressource en eau vont dépasser les seuils admissibles de la norme malgache ».

Les parties de l'étude sont les grandes lignes suivantes :

- L'élaboration de la méthodologie qui vise à l'identification de la problématique, la détermination de la zone d'étude et la mise au point de la démarche d'étude.
- La présentation et l'interprétation des résultats dont l'analyse de l'évolution de la retenue et du recouvrement sous l'aspect quantitatif et qualitatif.
  - La discussion de la méthodologie adoptée avec les résultats obtenus en tenant compte des limites admises
- La formulation des recommandations et des perspectives en proposant la mise en place de périmètres de protection, la gestion rationnelle des ressources et l'amélioration du système de traitement

Chaque partie de la recherche utilise les recherches déjà faites. La méthodologie repose sur les principes suivants :

- L'examen du mode de gestion quantitative et qualitative de l'eau pour l'agriculture et les industries, ainsi que la consommation humaine<sup>7</sup>
- L'identification des pollutions engendrées par les utilisateurs de l'eau<sup>8</sup> ainsi que les éléments causant<sup>9</sup>, ces caractéristiques<sup>10</sup> et ses impacts<sup>11</sup> ainsi qu'un choix des paramètres qui devraient être étudiés<sup>12</sup>
- La considération des bassins versant et la prévision de l'évolution des ressources en eau disponibles<sup>13</sup> en mettant des critères de ressource en eau<sup>14</sup>, en déterminant

---

<sup>7</sup> (O.P.Obasi 1997)(FAO 2006)(RAZAFINJATO 1989)(ANDRIANASY et RAKOTONANDRASANA 2013)

<sup>8</sup> (BOMMELAER et DEVAUX 2011)(STEINFLED et all. 2006) (AUGERAUD et TOUATY 2002)(RAKOTORAHALAHY 2011)

<sup>9</sup> (EC, 2000), (UNESCO 2009)(DUBOIS et LACOUTURE 2011)

<sup>10</sup> (SMITS 2005)(BARRAQUE et all. 2009)

<sup>11</sup> (STEINFLED et all. 2006)

<sup>12</sup> (AMRANI 2007)(AHMED 2007)

<sup>13</sup> (FAO 2006)(MARTINAND 2007)(RAKOTORAHALAHY 2011)

<sup>14</sup> (GOAS et all. 2010)

les flux <sup>15</sup>, en intégrant le changement climatique et en tenant compte des recherches référentielles <sup>16</sup>

- La détermination des toutes formes d'érosion <sup>17</sup> et les différentes pressions auxquelles est soumise la retenue

La présentation et l'interprétation des résultats reposent sur l'analyse de l'évolution du volume exploitable<sup>18</sup>, la détermination de substances contenues dans l'eau, la quantité de ces substances et l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain<sup>19</sup>.

Les bases de discussion sera menées dans les mêmes principes des autres investigations et recherches (ANDRIANASY et RAKOTONANDRASANA 2013)

Les recommandations et les perspectives se fonderont à partir des textes législatifs et réglementaires<sup>20</sup> et des recherches<sup>21</sup> sur la protection de la ressource en eau, ainsi que les bases apprises dans les cours de sylviculture et de défense et restauration des sols.

---

<sup>15</sup> (REMENIERAS 1960)

<sup>16</sup> « Contribution à l'étude des sources thermales et des eaux souterraines » et « Les eaux artésiennes de Madagascar » de H.BESAIRIE; « Les ressources en eaux de Madagascar » et « Les Eaux Souterraines de Madagascar » de RAKOTONDRAINIBE J. Herivelo.

<sup>17</sup> (BOMMELAER et DEVAUX 2011)

<sup>18</sup> (REMENIERAS 1960)

<sup>19</sup> (Ministère de Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs Québec 2013)

<sup>20</sup> Décret N° 2003-940 du 09 septembre 2003 relatif aux périmètres de protection

<sup>21</sup> (RAMAROSON 2004), (Cours de sylviculture artificiel, 2013)(RATSIVALAKA et all. 2007)

## **Partie 1 : Méthodologie**

---

Rapport-Gratuit.com

## 1.1 Problématique

La ressource en eau revête deux aspects. Il y a l'aspect quantité et l'aspect qualité. L'aspect quantitatif se traduit plus probablement par le volume exploitable<sup>22</sup>. Mais, une estimation du volume exploitable devrait passer par un bilan hydrologique. Le bilan hydrologique intègre les offres et les dépenses en eau au niveau d'un système. Les apports concernent le ruissèlement et l'interception. Le ruissèlement est l'apport par les eaux de pluies. L'interception est l'apport direct des eaux de pluies par la surface du lac.

L'analyse du bilan pour le lac Lohazozoro a été réalisée par des recherches<sup>23</sup>. Dans le cadre de ce mémoire, cette valeur est utilisée dans l'année de référence. Par la suite, WEAP l'intégrer au volume du lac.

La qualité d'une eau est caractérisée par les diverses éléments qu'elle contient, la quantité de ces substances et l'effet qu'elles ont sur l'écosystème et sur l'être humain<sup>24</sup>. La qualité est appréciée par rapport à 4 paramètres : les paramètres physiques, chimiques, organoleptiques et bactériologiques.

Dans le cas du lac Lohazozoro, les sources de pollution ont été identifiées par des investigations et par l'exploitant (JIRAMA). Ce mémoire analyse ces éléments en classifiant les pollutions potentielles.

Les études de la ressource en eau devraient intégrer ces deux aspects. Par conséquent, une étude des possibles états futurs de la ressource en eau doit prendre en compte la réduction de la quantité en eau mais aussi la dégradation de la qualité. Car, on doit attribuer une quantité d'eau à la population mais l'eau doit être de bonne qualité afin d'être utilisable. Ce principe est le même en ce qui concerne l'impact de l'état de la ressource sur l'écosystème aquatiques et sur l'environnement.

Le principe repose sur l'approche de bassin versant correspondant à la zone réceptrice des précipitations et qui alimentent un système de cours d'eau<sup>25</sup> ou plus précisément à un sous bassin. Le choix de sous-bassin versant se basera sur trois critères : l'étendue du bassin versant, les utilisations de la ressource et les installations humaines au niveau du bassin.

---

<sup>22</sup> (REMENIERAS 1960)

<sup>23</sup> (RATIARISON 2012)

<sup>24</sup> (Ministère de Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs Québec 2013)

<sup>25</sup> (Global Water Partnership 2009)

Le site du lac Lohazozoro répond aux trois critères de choix :

1- le lac Lohazozoro est l'exutoire d'un sous bassins versant<sup>26</sup> de 600 Ha2-le lac Lohazozoro est exploité par la société JIRAMA et par des agriculteurs.

3- des habitations, des installations d'élevage et des terrains agricoles se trouvent au niveau du bassin et sont sources de pollution.

La question de départ est donc : quelle est l'évolution de la ressource en eau du lac Lohazozoro ? Mais plus particulièrement : quelle est l'évolution de la quantité et la qualité de la ressource en eau au niveau du lac Lohazozoro ? La quantité sera étudiée avant la qualité pour deux raisons : cette démarche est celle suivie par WEAP 21 (Logiciel de modélisation dans l'étude) et également, car la quantité et son évolution a des impacts sur la qualité de l'eau notamment par rapport à la concentration des éléments.

On propose les hypothèses de réponses suivantes, elles seront divisées suivant les deux aspects :

Hypothèse 1 : « sur la base du système d'exploitation et des projections d'utilisation de l'eau, le volume de la ressource en eau au niveau du lac Lohazozoro va diminuer et ne pourra plus satisfaire les besoins de la population environnante/ envisagée»

Hypothèse 2 : « vis à vis l'état actuel du bassin versant et des pollutions, la qualité de l'eau va se dégrader : les paramètres de la qualité de la ressource en eau vont dépasser les seuils admissibles de la norme malgache ».

Et, les valeurs des paramètres qualité ont été comparées aux normes malgaches des eaux de consommation qui est traduite par le décret 2003-941.

## 1.2 Présentation de la zone d'étude

### 1.2.1 Localisation

Le bassin versant relatif au lac de Vontovorona se trouve dans le fokontany d'Antanety, de la commune d'Alakamisy Fenoarivo, de la District Antananarivo Atsimondrano. Cette localité se trouve à 18 Km à l'Ouest du centre ville. Le bassin versant est limité, géographiquement : au Nord par la ligne de crête de la montagne de Vontovorona

---

<sup>26</sup> On parle de sous bassin par rapport aux six grands bassins versants de Madagascar

d'altitude 1405m, au Sud par la ligne de crête d'une colline située à Miadanarivo, à l'Est par une digue qui sépare le lac Lohazozoro de la rivière Andromba, à l'Ouest par la courbe de niveau normale de 1330m.



Figure 1: Bassin versant de Vontovorona FTM (1/100000)

Le bassin versant est représenté au niveau de la feuille P47 de la carte topographique du FTM au 1/100 000. Suivant la projection Laborde, la zone se trouve à des coordonnées: X = 500380,404 m à X= 499207,883 m ; et de Y = 790745,510 m à Y = 789890,212 m

### 1.2.2 La ressource en eau

Le lac Lohazozoro s'est formé à partir de la dépression de zone volcanique. Le lac est alimenté par un sous bassins versants ; lequel est subdivisé en 4 micro-bassins versant. Le lac Lohazozoro à une profondeur au centre de 2,5 à 3 m selon les saisons, et une superficie

moyenne de 33 ha.(JIRAMA-DEXO 2013). Le débit provenant du bassin versant est de 0,08m<sup>3</sup>/s<sup>27</sup>.

4 nappes souterraines alimentent également le lac. L'évaluation de leurs apports pourrait être faite par des études hydrogéologiques plus spécifiques dépassant le cadre de ce mémoire.

### 1.2.3 Les demandes en eau

Au niveau des demandes, la zone d'étude est la Commune Alakamisy Fenoarivo. Elle compte 18280 habitants avec un taux d'accroissement de 4,45%(Plan Communal pour le Développement- Commune Alakamisy 2010). Ce taux intègre également l'immigration. Durant ces 5 dernières années la population a connu une hausse de 30 % (cf. démarche d'étude). Les causes ont été la construction de complexes hôteliers et la construction de logements (15000 logements CNAPS).

Il a également les demandes des hôtels, des hôpitaux et des centres scolaires. Ces demandes utilisent le reste de l'eau pompée par JIRAMA.

Les demandes de l'agriculture et de l'élevage ont été considérées même si l'utilisation de l'eau du lac par ceux-ci ne sont que partielle.

### 1.2.4 Les facteurs de pollution

Les facteurs de pollutions comprennent les facteurs naturels et les facteurs anthropiques.

#### *1.2.4.1 Les facteurs naturels*

La région est marquée par la dominance de sol volcanique néogène (Ankartrite) et de sol ferralitique. Le premier type de sol est riche en éléments minéraux et peut être source de polluant en cas de lessivage. Le second s'érode très facilement notamment en absence de couverture du sol. Comme, le sol ferralitique constitue la plupart des terrains cultivés, les éléments minéraux des engrais chimiques et du fumier sont apportés par les eaux. (BD JIRAMA 2012). Le relief constitue un facteur favorable à la pollution. En effet, la prépondérance de nombreuses collines avec de forte pente favorise l'érosion des sols.

---

<sup>27</sup> Calculer à partir de la méthode rationnelle initiée par la méthode de CAQUOT (1977)

Le climat de la région un climat tropical humide et tempéré. La précipitation annuelle est comprise entre 1 200 et 1 500 mm. Pour un sol faiblement couvert, le facteur précipitation est un des éléments favorisant l'érosion hydrique. Pendant la saison sèche, la température varie peu mais avec de faible précipitation. Cela diminue le volume de l'eau du lac et augmente les concentrations en éléments polluants.

### *1.2.4.2 Les activités anthropiques*

Comme le lac n'est pas protégé(BD JIRAMA 2012), les systèmes de plantation non pérenne (manioc, maïs, haricot, patate douce) au niveau de la zone facilitent l'érosion et la pollution. Les mottes de terre sont trop finement travaillées, ce qui rend la terre plus légers donc facilement transportée par les eaux de ruissèlement. Les engrais sont éparpillés sur la surface des rizières. Par conséquent, les matières azotées qui sont très solubles sont portées par les eaux d'irrigation.

Des habitations et des aménagements se trouvent au niveau du bassin versant et au bord du lac. Ces occupations du sol sont considérées comme des sols nus et sont très érodés.<sup>28</sup>

Des élevages intensifs se trouvent à 50m en amont du lac(BD JIRAMA 2012). Ces élevages ne possèdent pas de réseau d'égout conventionnel pour l'assainissement des aires. Ce système d'assainissement rejette dans des puisards en contact des nappes phréatiques. Ils pourraient être sources de pollution mais leurs analyses font appel aux études hydrogéologiques dépassant le cadre de cette étude.

Les fosses septiques des habitations sont considérées comme sources de contamination fécale. Mais ces dernières affectent plus les nappes souterraines qui ne font l'objet de ce mémoire.

---

<sup>28</sup> (RATIARISON 2012)

### 1.3 Démarche de l'étude

Après avoir examiné les informations disponibles dans les diverses documentations, il fallait encore collecter des données récentes permettant d'étudier l'évolution quantitative et qualitative du lac Lohazozoro considéré comme ressource en eau. Les investigations sur terrain considèrent les limites admises en 4 sous bassins. La cartographie de ces limites dans le logiciel WEAP fait parti de nos recherches. Les données relatives au changement climatique étudiées dans les autres recherches<sup>29</sup> sont reprises après avoir actualisées à l'année 2013. La demande relevée est la quantité utilisée par la population et celle utilisée par l'Agriculture. Les informations sur le nombre de la population sont recueillies au niveau de la commune et la demande de l'Agriculture à partir des visites sur terrain et des études précédentes.

L'étude de la qualité a commencé par une identification des paramètres y afférents. Il faut déterminer la valeur de ces paramètres au temps actuels. Cette détermination a été faite par une étude dans un laboratoire. Puis, des descentes sur terrains et des entretiens avec les agriculteurs ont été faits pour déterminer les sources de pollution au niveau de la zone. Il a fallu choisir quelques paramètres que l'on considère saillant. Ces données sont ensuite traitées sous WEAP 21.

#### 1.3.1 Visite sur terrain

Les visites sur terrain ont été effectuées afin de déterminer en premier lieu les limites des 4 micro-bassins versant. Pour ce faire, on a relevé les limites (des maisons ou des limites de clôture) à l'aide du GPS.

Par rapport à l'étude de l'évolution de la quantité, on a regardé si des terrains agricoles se trouvent en amont et au bord du lac. L'envasement du lac a été étudié par RATIARISON et la descente sur terrain a permis de voir l'évolution de cet état depuis l'année 2012. On a également identifié les types de travaux de champs effectués (le labour, le hersage,...), l'état des micro-bassins versant (dégradation de la structure du sol qui favorise l'érosion) et les sources qui pourront alimenter le lac à part les bassins versants.

Les visites pour les études de la qualité de l'eau ont été effectuées en même temps que les études sur la quantité. Les sources potentielles de pollution ont été identifiées, de même

---

<sup>29</sup> (RAKOTORAHALAHY 2011)

que le système d'irrigation et les zones potentielles d'érosion. La connaissance du système d'irrigation est nécessaire pour déterminer le transfert des polluants, le temps de séjours de ceux-ci au niveau du bassin versants. Les zones potentielles d'érosion correspondent aux endroits qui apportent peu d'eau mais qui sont très susceptibles aux ruissèlements.

### 1.3.2 Entretiens et enquêtes

Les différents entretiens ont été effectués en même temps que les visites sur terrain mais ils ont été renforcés par d'autres descentes au début du mois de décembre. Les entretiens ont été faits auprès des agriculteurs, des responsables administratives au niveau de la commune et des responsables de traitement au niveau de la station de Vontovorona. Le questionnaire a été libre et on a favorisé un échange de connaissance ; afin de minimiser la méfiance des personnes à entretenir (surtout les agriculteurs).

Par rapport à l'estimation de la quantité, on s'est entretenue avec les riziculteurs sur le système de culture qu'ils utilisent, le période de culture du riz et les entretiens sur les diguettes. L'appréciation de la population sur l'évolution de la quantité de l'eau dans le lac et sur baisse de la pluviosité a été également demandée.

La quantité d'engrais chimiques apporté par les agriculteurs a été déterminée lors des entretiens avec ceux-ci. Ce sera utiliser pour déterminer la quantité d'éléments polluants issus de celle-ci. On a également pu connaître la date et le protocole d'apport des engrais aux terrains de culture.

Les entretiens avec les responsables de traitement au niveau de la station de Vontovorona permet une vue historique de la quantité et de la qualité de l'eau au niveau du lac. Les sources potentielles de pollutions ont pu également être vérifiées.

### 1.3.3 Analyse au niveau du laboratoire

L'analyse au niveau du laboratoire a été faite pour initier l'étude de la qualité de l'eau. Les données issues de ses analyses constitueront les valeurs des paramètres à l'année de référence (2013) et un critère de choix des paramètres saillants.

#### *1.3.3.1 Prélèvement*

Le prélèvement de l'échantillon d'eau à analyser doit être effectué pas plus de 4 jours avant les analyses. Les échantillons doivent être prise à différents endroits mais l'étude n'a utilisé qu'un prélèvement aux abords du lac parce que la pluie a permis un mélange des différentes matières des différents endroits. L'échantillon a été pris dans un récipient de 1,5 L.

Depuis la prise proprement dit, l'échantillon doit être couvert afin d'éviter la modification des paramètres physico-chimiques par les ultra-violet. A titre informatif, si l'échantillon ne peut pas être analysé le jour de prélèvement, il convient de la mettre dans un congélateur. L'analyse bactériologique n'a pas été spécifiée vis-à-vis de la considération.

### 1.3.3.2 *Manipulation*

Elle concerne surtout la mesure des paramètres qualité. Les analyses en laboratoire peuvent être rassemblées en trois groupes : les analyses volumétriques, les analyses colorimétriques et les analyses instrumentales.

- Les mesures instrumentales se font à partir d'appareil de mesure. Cette méthode est utilisée pour la mesure de la turbidité, de la conductivité, du degré de minéralisation et du pH
- Les mesures colorimétriques est une identification de la présence ou de l'absence d'un élément. Elles mesurent la quantité de cet élément dans la solution en fonction de la longueur d'onde absorbée (principe d'absorption) par la solution (eau). Cette mesure s'effectue sur un spectrogramme après avoir ajouté à la solution un indicateur coloré. Elle est utilisée dans la mesure du taux de Fe, de  $\text{SO}_4^{2-}$ , de  $\text{NH}_4$ , de  $\text{NO}_2$  et de  $\text{NO}_3^-$  de l'eau.
- Les mesures volumétriques est une mesure de la concentration en un élément par une mesure de la quantité de solvant nécessaire pour aboutir à un changement de couleur de la solution (eau+ solvant). Elle est nécessaire dans la mesure de la dureté totale, de la dureté par rapport au calcium, du taux de  $\text{Cl}^-$  et le taux en matières organiques.

Les taux de certains éléments sont obtenus à partir de la résolution de formules d'équilibre. Ceux-ci sont valables pour connaître le taux de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{CO}_3^{2-}$ . Il s'agit de la formule d'équilibre ionique : anions (meq/l) = cations (meq/l)

Au cours des analyses au niveau du laboratoire, on a commencé par les mesures instrumentales et terminé par les mesures colorimétriques. Les mesures instrumentales sont plus rapides et la température de l'eau conditionne la plupart des réactions. Les mesures colorimétriques sont préparées avant le commencement des mesures instrumentales mais la lecture par spectrogramme doit se faire tout à la fin.

Un agitateur magnétique et un barreau magnétique a été utilisé pour assurer un meilleur mélange de l'eau avec les réactifs.

Tous les paramètres qualité (physico- chimiques, bactériologiques) ont été analysés au laboratoire car une valeur actuelle élevée des paramètres pendant cette année (2013) peuvent être cause de choix du paramètre.

#### 1.3.4 Le choix des paramètres

La plupart des paramètres physiques et organoleptiques dépendent des paramètres chimiques. De même, certains paramètres chimiques se trouvent dans une relation d'interdépendance ou de complémentarité. Enfin, les paramètres bactériologiques donc la présence de bactéries et leur abondance sont en relation avec les paramètres physiques et chimiques. Il est donc nécessaire de faire un choix entre les paramètres. Les paramètres choisis ont répondu à certains critères:

- Importance du paramètres qualité par rapport à la santé et au traitement de l'eau
- Interdépendance: les paramètres organoleptiques, physiques et bactériologiques n'ont pas été étudiés du fait de leurs dépendances des paramètres chimiques. On a également fait le choix des paramètres entre le pH, le titre alcalimétrique et la concentration en ion carbonate. Ces trois paramètres sont interdépendant (www.lozere.fr s.d.)
- L'évolution des paramètres: les paramètres n'ayant pas de progression inquiétante (ne risquant pas de dépasser le seuil de la norme Malagasy sur la qualité des eaux de consommation) n'ont pas été étudiés.

#### 1.3.5 Analyse descriptive de la série évolutive des paramètres

L'analyse de la série évolutive a été basée sur les données issues de la JIRAMA. L'analyse des séries évolutives a été surtout utilisée dans l'étude de la qualité de l'eau. Après avoir mesuré les paramètres qualité, on a introduit leurs valeurs au cours du temps sous Microsoft Excel. Les variations mensuelles sont le résultat des moyennes des mois de toutes les années disponibles. La variation annuelle a été montrée en effectuant la moyenne de tous les mois de l'année. L'analyse sert à déterminer si la valeur des paramètres augmente, si les sources potentielles identifiées a des impacts sur la qualité de l'eau. De même, cette analyse vérifie la dégradation et le taux de dégradation donnée par les études précédentes. Car vu les possibles différences des conditions du milieu, le taux de dégradation ou de fixation par le sol des éléments varie. Elle a aussi été utilisée pour choisir les paramètres dont l'évolution est inquiétante.

#### 1.3.6 Traitement par WEAP 21

Le logiciel WEAP est un logiciel de planification et de modélisation intégré de la ressource en eau. Il intègre les différents aspects de la ressource en eau (aspect qualitatif et quantitatif), les différentes offres (bassins versants, ruissèlement, retenue) et les différentes utilisations (site de demande). WEAP analyse également les différents flux de la ressource. Ce logiciel a été développé par l'Institut de l'Environnement de Stockholm (ISE) pour étudier les

demandes, la préservation de la ressource en eau, la simulation des eaux souterraines et des eaux de surface, le suivi de la pollution et la mesure de la vulnérabilité. Le WEAP peut être applicable aux systèmes unitaires et complexes concernant les systèmes municipaux ou les systèmes agricoles.

Cinq vues principales sont utilisés dans WEAP :

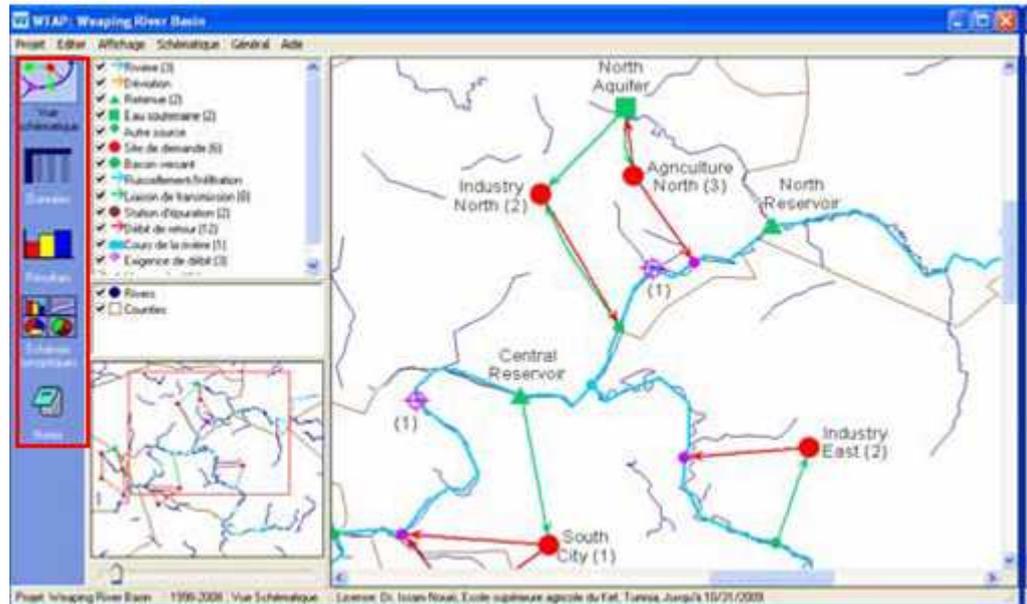


Figure 2: Vues sous WEAP 21

- Schéma : il se base sur le système d'information géographique (SIG). Cette vues permet une insertion et une vue des objets (nœuds de demandes, retenues).
- Données : la vue des données permet de créer des variables, des relations entre les variables, entrer des hypothèses et projections en utilisant des expressions mathématiques et des relations dynamiques.
- Résultats : la vue résultat permet un affichage détaillé et flexibles des sorties de modèle dans des graphiques ou des tableaux
- Schémas synoptiques : les schémas synoptiques permettent un rapide aperçu des indicateurs clefs
- Notes : les notes forment les observations par rapport aux données et aux hypothèses

### 1.3.6.1 La définition de l'étude

#### ◆ Les paramètres généraux

Les paramètres généraux concernent la période de l'étude (début de l'étude et fin de l'étude), les pas de chaque année et le commencement de l'année hydrologique. Le période de l'étude sera de 2013 à 2030. Le commencement correspondra à l'année de calage des données par rapport à la ressource et la fin (après 15 ans) correspondra une limite minimum de

modélisation. Le pas de temps sera de 12 correspondant aux 12 mois d'une année et le commencement de l'année hydrologique sera le mois de Janvier (mois de commencement de l'année).

◆ *Délimitation de la zone d'étude*

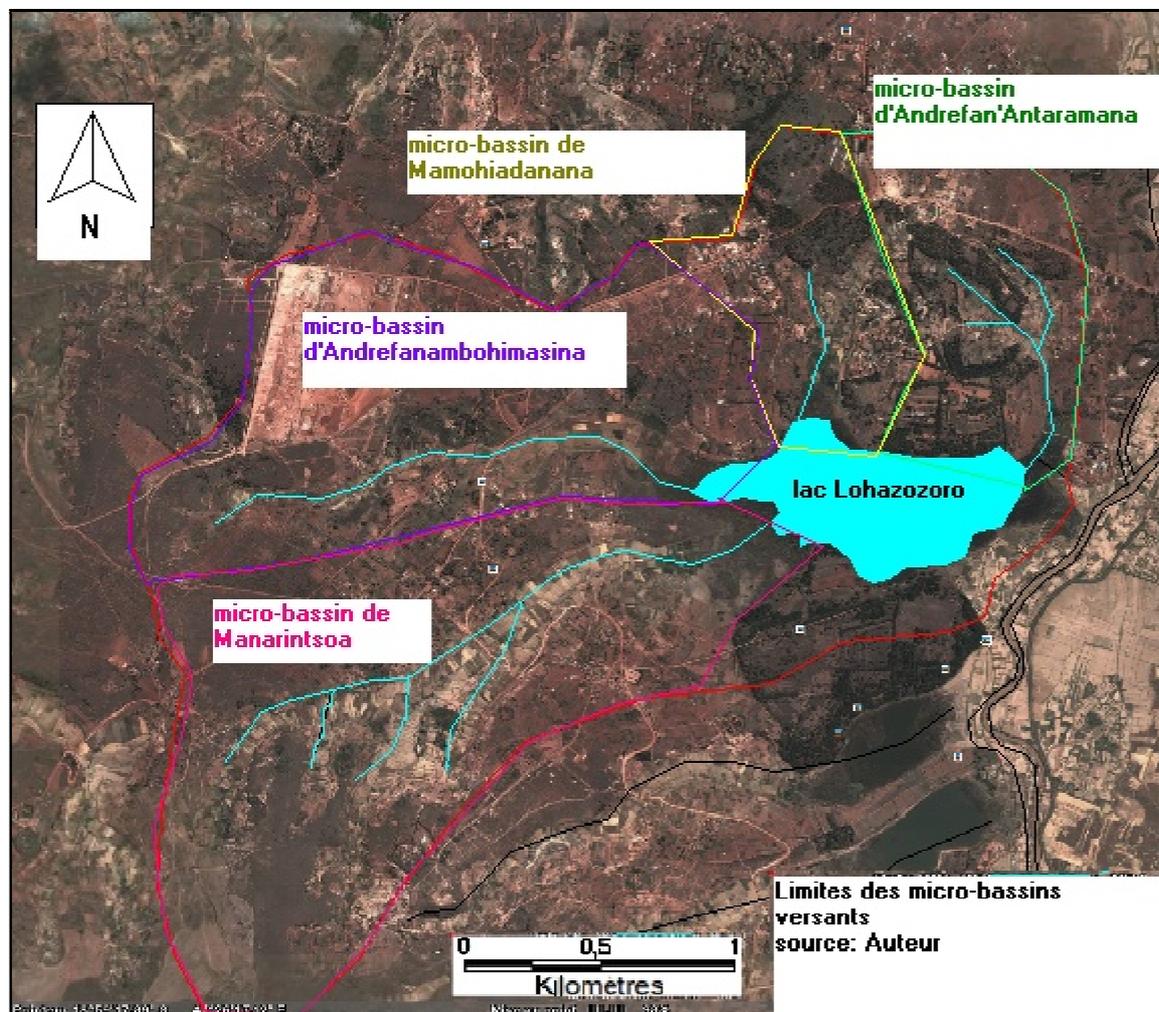


Figure 3: limites des micro-bassins versant de Lohazozoro

La zone d'étude est le bassin versant adjacent au lac Lohazozoro. Mais, pour aboutir à une étude plus précise le bassin versant sera divisé en 4 micro-bassins. Les limites des 4 micro-bassins versant sont basées sur les observations sur terrain. Les apports des 4 micro-bassins versant seront sous forme de rivière.

Les zones de plantation sont assimilées aux rizières (riz\_1 à riz\_5) et la commune d'Alakamisy Fenoarivo représente les sites de demande.

L'élevage sera assimilé à un site de demande notée E

Le lac Lohazozoro est indiqué par une retenue

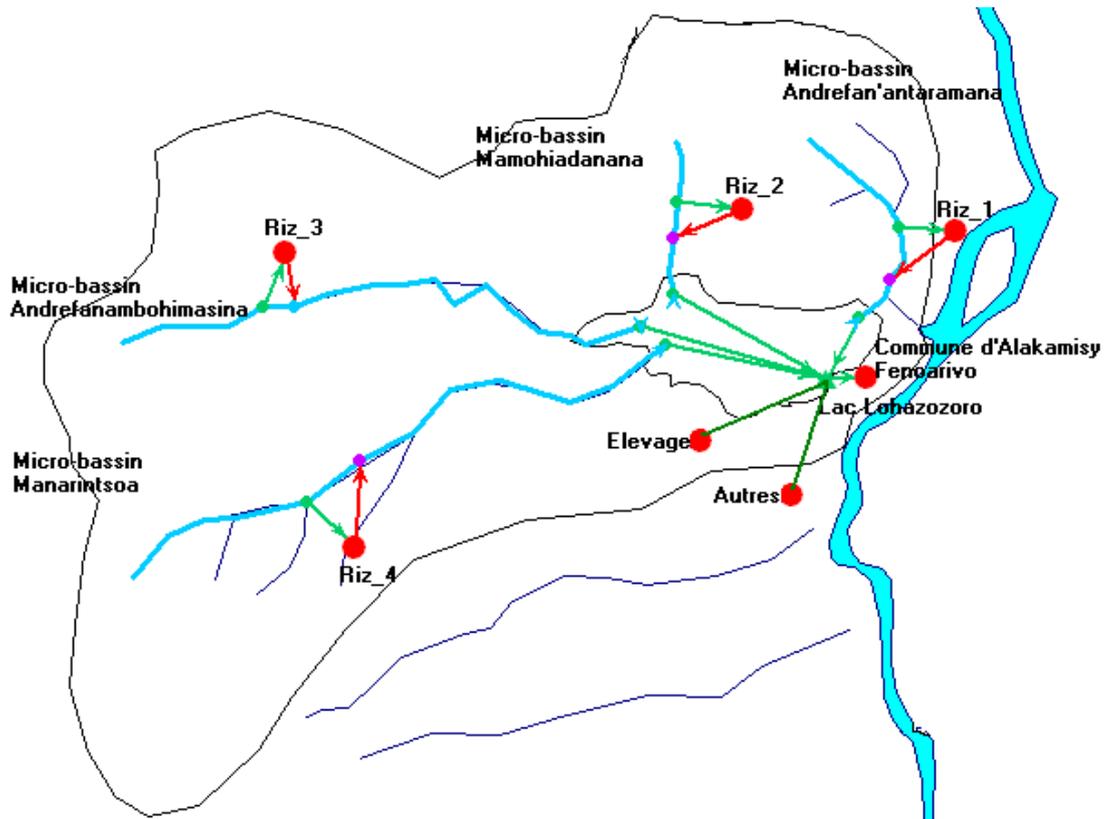


Figure 4: représentation de la zone d'étude sous le logiciel WEAP 21

### 1.3.6.2 Étude de la quantité sous WEAP 21

- Les rivières

Après avoir dessiné à l'aide de WEAP 21 le début et la fin des rivières, il faut faire correspondre à chaque rivière un débit de tête. Les rivières sont les ruissèlements et correspondent plus exactement au chemin que l'eau empreinte. Ces chemins ont été identifiés lors des visites sur terrain. Le débit de tête est le débit apporté par les ruisseaux au lac. Le débit de l'apport moyen du sous bassin est environ 0,08 m<sup>3</sup>/s. Le débit est en fonction de la précipitation et atteint sa valeur maximale au mois de janvier.

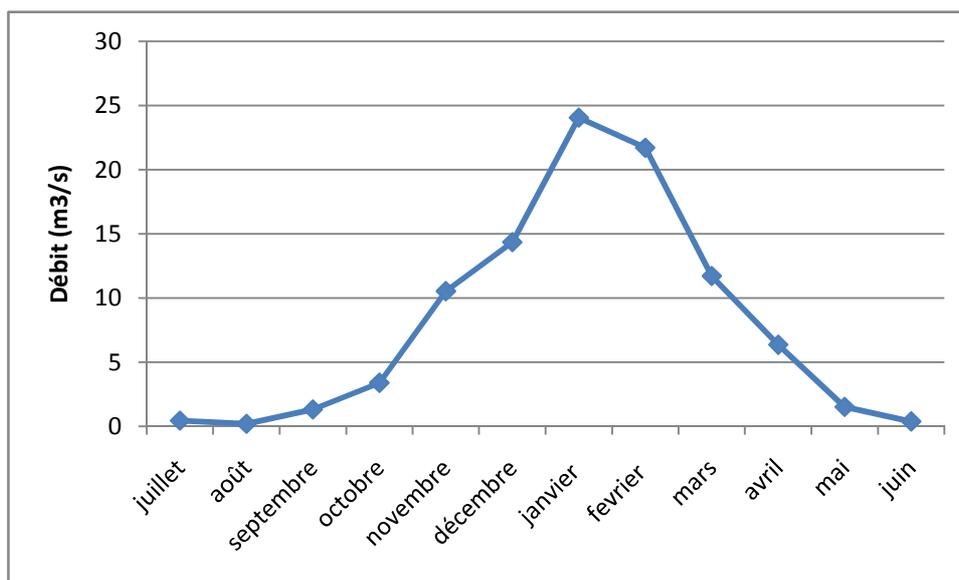


Figure 5: débits mensuel du bassin versant

Les données précises sur les débits de tête des micro-bassins versant ne sont pas disponibles. Mais, comme l'eau apportée par le bassin versant dépend de sa surface et sa forme (REMENIERAS 1960), la quantité apportée sera le pourcentage de la surface occupée par le micro-bassin fois le totale de débit de tout le bassin.

Tableau 1: débits des micro-bassins

micro-bassin versant	localisation	surface sphérique (ha)	débit (m <sup>3</sup> /s)
Andrefan'antaramana	NE	83,00	0,01
mamohiadanana	NO	58,41	0,01
Andrefanambohimasina	O	208,30	0,03
Manarintsoa	SO	254,70	0,03
non apport	E et SE		0,00
grand BV		604,41	0,08

Par rapport au micro-bassin versant d'Andrefanambohimasina qui est censé avoir

l'apport le plus élevé, les apports sont surtout souterrains (Fiche d'enquête sanitaire Vontovorona 2004). Ces apports sont actuellement difficiles à mesurer donc ne seront pas pris en compte dans l'étude. Une partie du bassin versant n'apporte aucun débit pour le lac. Ces surfaces représentent environ 10% de la surface. Mais ces surfaces ont été décidées par la JIRAMA comme des zones de protection des eaux. Pour faciliter le calcul et par rapport à leur importance au lac, on les assimilera au micro-bassin adjacent.

- La retenue

Le lac Lohazoro est considéré comme une retenue dont on va déterminer l'évolution de la quantité et de la qualité. La capacité de stockage étant de 1.000.500m<sup>3</sup> (JIRAMA-DEXO 2013) et le stockage en l'année 2013 (stockage initial) est de 833.750m<sup>3</sup>. (JIRAMA-DEXO 2013)

L'interception par le lac sera le débit entrant dans le retenu à part les apports des bassins. Le calcul de l'apport par l'interception<sup>30</sup> sera :  $Qi = P^{\circ}(mm) \times S$ .  $P^{\circ}$  étant la précipitation et S la surface du lac. L'interception annuelle du lac est environ de 0,14m<sup>3</sup>/s.

- Le site de demande urbain

Le site de demande urbain est la ville qui s'approvisionne par rapport à la ressource. Il faudra ensuite lui attribuer un nom : Fenoarivo et une étiquette : F. Il faut également spécifier la priorité de la demande qui correspond à 1 si le site de demande est approvisionner prioritairement.

L'unité d'activité est la « personne »

Le niveau d'activité annuel est le nombre de personnes à approvisionner. Comme nous ne disposons pas de données récente sur la population, on se basera sur les données au niveau de la commune à l'année 2010 et on utilisera un générateur d'expression : Growthfrom (18280 ; 4.45% ; 2010) avec 18280 le nombre de personne à la date de recensement, 4,45% le taux de croissance calculé à cette année et 2010, l'année de recensement. La donnée sur la population est issue des enquêtes auprès des responsables administratifs au niveau de la commune.

La consommation d'eau annuelle est la quantité nécessaire à chaque personne tout au long de l'année. Pour le calcul des besoins en eau annuelle, il faut se baser sur la demande journalière de la personne à Madagascar. Elle correspond pour Madagascar 20 à 30L/j (Code de l'Eau 1999) Mais afin de mieux cerner la potentialité de la ressource en eau du lac, un

---

<sup>30</sup> (RATIARISON 2012)

scénario correspondant aux normes d’apport en eau domestique européens (300l/j/personne) sera analysé. La variation mensuelle de la demande en eau est uniforme tout au long de l’année : on divisera 100% par les 12 mois donc des valeurs de 9% et de 8%. Le « pourcent » étant prédéfini comme l’unité de la variation mensuelle de la consommation.

- Les autres demandes (hôtels et hôpitaux)

Les autres demandes sont les demandes des écoles, des hôtels et des hôpitaux. La quantité qui leur est attribuée sera hypothétiquement le reste des utilisations par la population.

Donc, la quantité pompée par la JIRAMA moins les besoins de la population. La quantité pompée par la JIRAMA étant de 465498m<sup>3</sup>(BD JIRAMA 2012).Les sites de demande agricole

Les données nécessaire et les démarches à suivre à WEAP pour modéliser les demandes agricoles sont les mêmes que pour le site de demande urbain.

L’unité d’activité est l’hectare

Le niveau d’activité annuelle représente la surface agricole. Des plantations rizicoles tirent leur irrigation de l’eau des 4 micro-bassins dont la détermination des caractéristiques est faite par le logiciel Mapinfo:

**Tableau 2: aires des terrains de plantation**

Bassin versant adjacent	Surface des rizières (Ha)
Andrefan’antaramana	8,085
Mamohiadanana	2,746
Andrefanambohimiadana	21,56
Manarintsoa	48,11
Aval lac Lohazozoro	5,631

La consommation d’eau annuelle 96m<sup>3</sup>/ha/j (MAEP, 2003) fois 150 jours de plantation ([www.fao.org](http://www.fao.org))

La variation mensuelle étant ([www.fao.org](http://www.fao.org)) :

**Tableau 3: Variation mensuelle de la demande en eau**

Mois	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars
Consommation(%)	16	28	23	11	12	10

- L'élevage

Les demandes de l'élevage correspondent à celle des bovins et des animaux de la basse cour. Les données qui ont été entrées dans le logiciel est le même que les sites de demandes précédentes mais le niveau d'activité annuelle sera le nombre de tête pour chaque type d'animaux d'élevage. Les besoins en eau ont été déjà déterminés par le Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche.

**Tableau 4: besoins en eau élevage**

Animaux d'élevage	Besoins en eau théorique (litre/tête/j)	Nombre au niveau de la commune
Bovin	30	3645
Porcins	15	810
Volaille	1	14580

- Les hypothèses de travail

Pour la mise en place des scénarios, il est nécessaire au logiciel que l'utilisateur prévoit des hypothèses sur l'évolution des demandes en eau et des apports en eau.

- ◆ *Les pertes en eau d'irrigation*

Le système d'irrigation utilisé au niveau des rizières favorise le gaspillage d'eau. En plus, on a pu observer une dégradation des diguettes. Le manque d'entretien se fait observer alors que le phénomène de dégradation est favorisé par la texture du sol (sol limoneux et sableux). Le problème d'irrigation s'effectue par rapport aux diguettes entre les rizières mais aussi vers l'extérieur du système agricole. Le premier ne pose pas réellement de problème mais le second est égale une perte par rapport au système d'eau. On peut évaluer une perte annuelle de 1% eau par ans vis-à-vis des surfaces constatées présentant ces pertes en eau.

- ◆ *Extension du réseau de distribution*

La société JIRAMA prévoit étendre sa distribution. Cela comprend au projet 15000 logements CNAPS (visite sur terrain et entretien) et à l'extension de l'approvisionnement à la

commune d'Andriambazaha. Donc, au lieu de se baser sur l'évolution de la population de la Commune d'Alakamisy Fenoarivo (taux actuel de 4,45%), on attribuera à la population un taux d'accroissement de 10%. La raison étant une intégration progressive des 15000 logements, une extension du réseau et l'effet de l'immigration par rapport au travail dans les complexes hôteliers.

◆ *Année hydrologique (intégration du changement climatique)*

La méthode de l'année hydrologique est une représentation de la variation des débits des rivières suivant le climat. Un an est considéré comme très sec, sec, normal, humide et très humide. Cette considération est par rapport à l'apport de la précipitation pendant l'année. Cette méthode sert à évaluer les impacts du changement climatique sur l'offre et la demande en eau.

On attribuera à chaque type d'année un coefficient : une année très humide aura un coefficient de 1,45, une année humide 1,3, une année normale : 1, une année sèche : 0,8 et une année très sèche : 0,7.(Stockholm Environment Institute 2008)

Le régime climatique au niveau du site se répète tous les 4 ans : un régime humide en 2011, un régime normal en 2012, un régime très sec en 2013 et un régime sec en 2014.(RAKOTORAHALAHY 2011)

◆ *Le scénario : besoin en eau suivant les normes européenne « Europe »*

Le scénario « Europe » est un scénario suivant lequel la population de la zone vivrait selon les demandes en eau selon les comforts similaires aux Européens. Ce scénario serait dans le cas d'une condition de vie plus aisée.

La demande en eau sera donc de 300 l par jour par habitant au lieu du 30 l prévu pour l'approvisionnement en milieu rural de la population malgache.

1.3.6.3 Analyse de l'évolution de la qualité sous WEAP 21

L'étude de la qualité au niveau du logiciel WEAP 21 s'effectue toujours après l'étude de la quantité, ce qui justifie également l'enchaînement de la recherche. L'étude de la qualité passe par plusieurs phases.

- Réglages des paramètres généraux

Il s'agit d'abord de déterminer les paramètres que le logiciel va modéliser. Le choix des paramètres s'est basé sur la valeur des paramètres à l'analyse au laboratoire, à l'évolution par rapport à l'analyse descriptive des séries évolutives (cf annexes 4). Chaque paramètre doit correspondre à une unité. Il faudra également définir si le polluant se conserve ou non. Son caractère d'être conservatif ou non a été identifié par rapport à l'analyse descriptive de la série évolutive (cf annexe 4) Il faudra donner au paramètre non conservatifs un taux de dégradation. Les critères de choix ont identifié comme intéressant l'étude des paramètres chimiques et plus particulièrement : le pH, la concentration en Matière Organique et la concentration en Matière Azotée. L'analyse des séries évolutives révèle également une relation étroite entre le pH et le taux de Magnésium. Dû à la complexité des facteurs de l'étude du pH, on étudiera le Magnésium puis on fera une transposition de cette valeur à la valeur du pH. Les études de la courbe d'évolution des paramètres depuis les années 2007 ont montré que les matières organiques et le magnésium sont des polluants conservatifs. Le nitrate est absorbé par le système. Le taux de dégradation est en générale de 0,03 mg/l à 4,83mg/l suivant les conditions du milieu (SEITZINGER, 1988). Comme certains de ces conditions sont inconnus, on prendra le taux de dégradation le plus bas.

- Les données sur la qualité de l'eau

Les premières données demandées concernent la qualité de départ des eaux de la rivière. Ces données ne sont pas considérées à l'égard de l'inexistence de périmètre de protection dont les variations ne sont pas , mais maîtrisées en matière de la qualité de l'eau de départ au niveau du bassin versant du lac Lohazozoro qui est de bonne qualité(BD JIRAMA 2012), les valeurs prises pour la qualité de l'eau de tête ont été les valeurs minimales observées des paramètres (les valeurs minimales des relevés). Ces valeurs minimales relèvent des valeurs minimales observées au niveau des séries évolutives. On prendra donc pour la concentration de magnésium à 1mg/l, celle de la matière organique 1mg/l et celle du nitrate 0,2 mg/l.

Il faut ensuite entrer les caractéristiques géométriques de la rivière (des ruisseaux). Il s'agit de la modélisation du débit du ruisseau en fonction de la largeur et de la hauteur de celui-ci. Les données ont été calculées de façon à ce que la hauteur maximale correspond au débit maximal. Ce débit est le débit du bassin versant de Manarintsoa avec un débit de 4,45m<sup>3</sup>/s. La hauteur et la largeur maximale étant les dimensions du système d'irrigation rizicole donc 20cm x 20cm.

- Les contraintes de qualité d'eau

Un site de demande exige que la qualité de l'eau qui lui approvisionne réponde à un certains critères. Dans le cas de notre étude, ces critères sont les normes de qualité fixés par le décret 2004- 941 sur la surveillance des eaux de consommation. Par rapport à ce décret, les seuils sont :

- pH: 9 correspondants à une concentration de 364 mg/l du magnésium mais ce taux étant trop élevé et dépassant la limite acceptable du taux de Magnésium, on prendra la limite 50mg/l (limite du Magnésium dans la norme de qualité d'eau de consommation malgache).
- Nitrate : 50 mg/l
- Matière organique : 2 mg/l

- Les pollutions générées par un site de demande

Les meilleures possibilités de modélisation seraient de donner pour chaque site de demande une concentration de sortie. Mais, pour le cas de non connaissance de la concentration au débit de sortie, on introduit l'intensité de génération de pollution. L'intensité de génération de pollution est la quantité (kg/ha) générée par les sites de demandes.

**Tableau 5: Quantité apporté par les bassins versants**

Occupation du sol	Surface occupée (%) (RATIARISON 2012)	Nitrate (kg/ha/an)	Magnésium (kg/ha/ans) <b>Source spécifiée non valide.</b>	Matière organique (kg/ha/ans) <sup>31</sup>
Terrains de culture	24,55	2,34*	35	300
Forêt et végétation naturelle	67		2 à 3	50
Sol nu et habitation	18,29		75	10000

\* Cette valeur a été calculée à partir des apports moyennes des agriculteurs (3 à 4 kg de NPK 11-22-16) sur une surface moyenne de 0,164 Ha (moyenne de surface sur 30 terrains riziocoles pris au hasard et mesurer par Mapinfo)

---

<sup>31</sup> D'après les proportions en matières organiques **Source spécifiée non valide.**

Les pollutions engendrées par les occupations du sol autre que la riziculture a été intégrée au logiciel comme des pollutions issues des terrains rizicoles.

1.3.7 Cadre opératoire

Problématique	Hypothèses	Indicateurs	Méthodologie	Activités
<p>L'évolution de la quantité et de la qualité de la ressource en eau au niveau du lac Lohazozoro</p>	<p>Hypothèse 1 : « sur la base du système d'exploitation et des projections d'utilisation de l'eau, le volume de la ressource en eau au niveau du lac Lohazozoro va diminuer et ne pourra plus satisfaire les besoins de la population environnante/ envisagée»</p>	<p>Quantité eau nécessaire à une personne</p> <p>Besoins en eau des surfaces agricoles</p> <p>Volume exploitable du lac Lohazozoro</p> <p>Apport du bassin versant au lac</p> <p>Projection de l'augmentation du nombre des abonnés</p> <p>Projection de l'offre avec l'intégration des impacts du changement climatique</p>	<p>Comparaison de la ressource en eau disponible à la demande au temps actuel et futur</p>	<p>Revue du Plan Communal de Développement</p> <p>Documentation par rapport à la demande d'une personne (OMS, code de l'eau) et celle des plantes (FAO)</p> <p>Revue de la base de données de la JIRAMA</p> <p>Entretien avec les responsables de la commune sur l'évolution de la population et avec les agriculteurs sur l'utilisation de l'eau et le système d'irrigation</p> <p>Traitement sous WEAP 21</p>

	<p>Hypothèse 2 : « vis à vis l'état actuel du bassin versant et des pollutions, la qualité de l'eau va se dégrader : les paramètres de la qualité de la ressource en eau vont dépasser les seuils admissibles de la norme malgache ».</p>	<p>Valeurs actuelles et futures des paramètres  source de pollution et quantité de polluant émis  Dégradation des polluants  Seuil d'admissibilité de la qualité d'eau de consommation</p>	<p>Analyse de la valeur future du paramètre pertinent par rapport à ces sources et sa dégradation dans le milieu</p>	<p>Revue de la base de données JIRAMA  Analyse de la série évolutive de tous les paramètres de l'eau par traitement sous Microsoft Excel  Actualisation des paramètres par leurs analyses au niveau du laboratoire  Choix des paramètres pertinents  Entretiens avec les riziculteurs sur le système de culture, le taux d'engrais chimiques et son protocole d'apport  Traitement sous WEAP 21</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

### 1.3.8 Limites et contraintes de l'étude

Les principaux problèmes rencontrés pendant la recherche ont été :

- Le manque de données sur l'évolution passée : les données concernant l'état passé de la ressource ne permettent pas une analyse approfondie. Elles sont peu nombreuses et de dates récentes. Alors, l'étude de l'évolution s'est basée sur l'analyse de la série évolutive disponible à partir du quel on a élaboré les hypothèses de travail. Afin de minimiser les biais, ces hypothèses de travail ont été soumis à une personne connaissant l'historique du lac Lohazozoro.
- Le problème de coordonnées des limites du bassin : quelquefois, les limites du bassin versant relevées sur le terrain ne correspondent pas aux limites matérielles sous Mapinfo. Pour cela, on s'est permis d'identifier les limites à partir de celle vue au niveau du logiciel.
- Le problème au niveau de la disponibilité des personnes à enquêter : les personnes auxquelles ont effectué un entretien sont souvent occupés. Ce qui pourrait être causes de réponses à la hâte. Afin de pallier ce problème, on a pris des rendez-vous auprès des responsables de la commune et celles au niveau du traitement de l'eau. Pour les riziculteurs qui sont rarement disponible, on a effectué des entretiens en groupe et on a entretenu plusieurs personnes.
- Le non constance des valeurs en fonctions de la température : les analyses au niveau du laboratoire dépendent en grande partie de la température. On peut citer comme exemple la valeur de la turbidité. Or, l'eau n'a pas pu être analysée le jour de son prélèvement et a du être mis au congélateur. Ce qui a diminué fortement sa température. Alors, il a fallu la réchauffer avant les analyses.
- Le manque de précision de WEAP 21 concernant l'étude des eaux souterraines: WEAP 21 se trouve être un logiciel de comptabilisation des ressources en eau superficielles. L'apport de ces sources n'a pas pu être intégré dans l'étude de l'évolution. De plus, cela nécessiterait une étude hydrogéologique qui dépasse le cadre de l'étude.

## **Partie 2 : Présentation des résultats**

---

Après avoir défini la méthodologie d'étude, la deuxième partie va présenter les évolutions quantitatives et qualitatives. Chaque résultat correspond à de scénario d'étude.

## 1.1 Evolution de la quantité de la ressource en eau au niveau du lac Lohazozoro

### 1.1.1 Le volume au niveau de la retenue

Le logiciel WEAP 21 permet de donner cette évolution quantitative après avoir introduit les données et définit les différentes hypothèses. Il s'agit d'une représentation de l'évolution de la ressource en eau par rapport aux demandes et à l'année hydrologique.

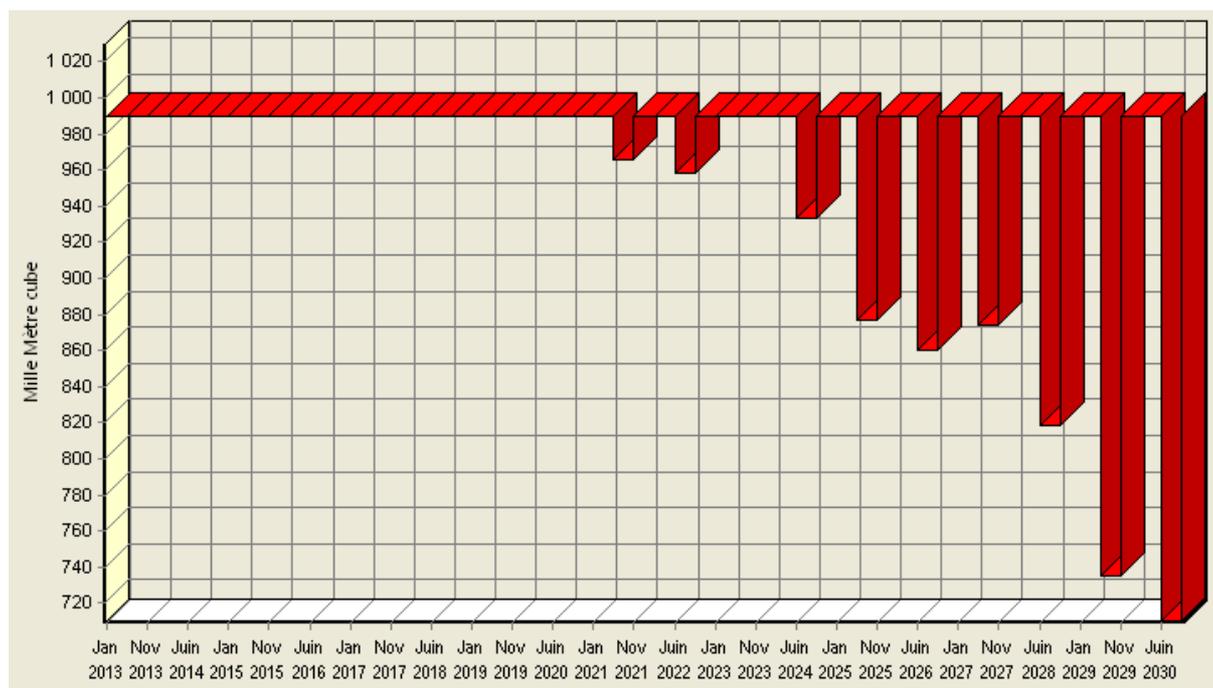


Figure 6: Evolution du volume d'eau du Lac Lohazozoro

Les pointes plus marquées descendantes correspondent aux années hydrologiques très sèches qui se répètent, la courbe se reprend pour traduire les années humides.

Le volume d'eau au niveau du lac va diminuer et une perte de plus de 30% sera observée à la fin du scénario. Ce qui va créer des problèmes au niveau de l'approvisionnement de la population et freiner l'extension du réseau de la société JIRAMA. Mais la baisse du volume de l'eau au niveau du lac sera ressentie à l'année 2020 et s'accroîtra au fur et à mesure du temps. La représentation prend en compte 3 mois par année afin de maximiser l'interprétation. En effet, la prise en compte du mois le plus sèche (juin) et du mois le plus humide (novembre). Le mois de Janvier permet au logiciel de compléter l'année.

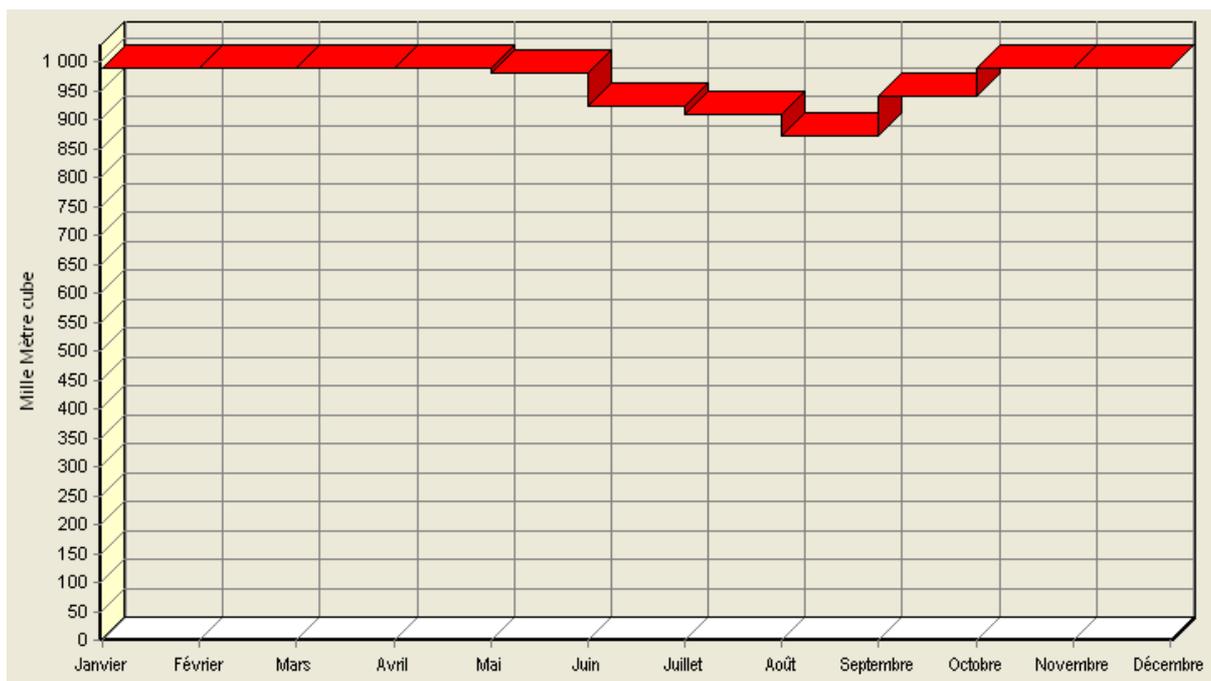


Figure 7: Les mois de problèmes d'eau

Par rapport aux projections annuelles, les projections mensuelles sont cohérentes. Le graphe ci-dessus montre d'une manière relative la moyenne de baisse d'eau du lac durant tout le scénario. Les mois les plus affectés par la baisse de l'eau se trouvent être les mois de Mai et Octobre. Néanmoins, pour la population dont la demande est plus ou moins constante, la baisse de la quantité d'eau pouvant être exploitée (une part du volume disponible) va entraîner une pénurie.

### 1.1.2 Recouvrement des sites de demande

Le recouvrement traduit l'adéquation de la demande avec la ressource en eau disponible. Les demandes comprennent aux besoins en eau de la population, celle des complexes hôteliers et des surfaces de culture actuelle et future. Les surfaces agricoles sont représentées sous forme de riziculture des 4 micro-bassins respectifs et celle aux niveaux du lac.

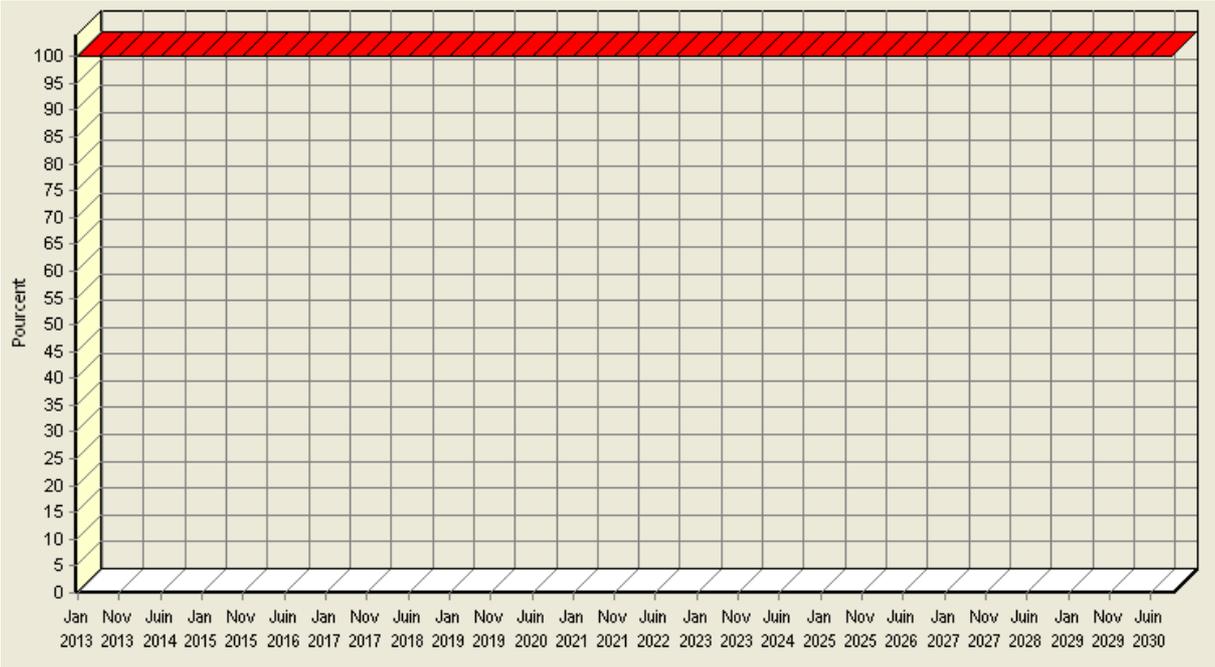


Figure 8: Recouvrement des demandes agricoles

La baisse de la quantité d’eau au niveau de la retenue n’affecte les zones de plantation rizicole en amont du lac qu’à l’année 2029, ces rizières étant les groupes de rizière : riz\_1 à riz\_4. La cause étant que ces terrains tirent l’eau qui leur est nécessaire avant d’approvisionner l’eau de la retenue. Comme la zone de riziculture riz\_5 se trouve en contact direct avec le lac, elle va également être approvisionnée en eau tout le temps. Les baisses du recouvrement seront donc dues à la perte en eau par l’irrigation et/ou changement climatique.

Le recouvrement de la population est spécifié par la courbe ci-dessous :

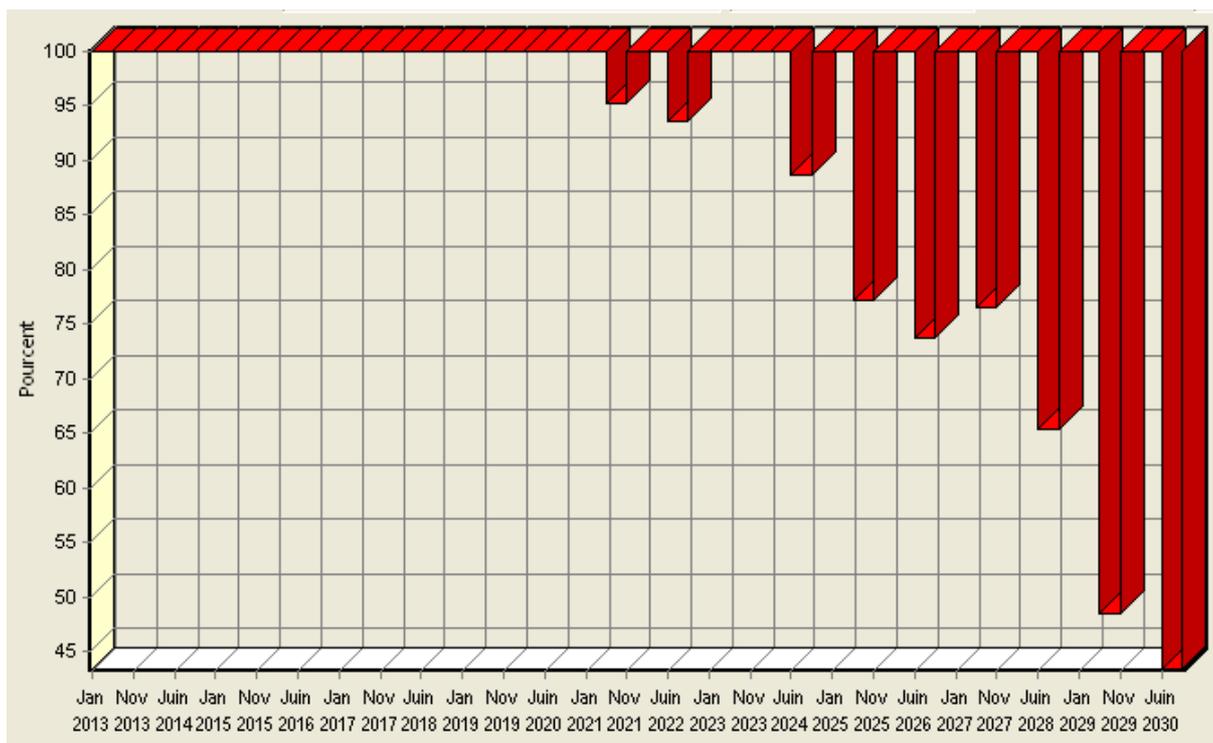


Figure 9: Recouvrement de la demande de la population

Pour la population de Fenoarivo qui dépend entièrement du lac Lohazozoro, l'eau pouvant être approvisionnée va diminuer progressivement. On observera des problèmes de pénurie d'eau à partir de l'année 2025 car 25% de la population n'aura pas accès à l'eau. La potentialité du lac Lohazozoro ne pourra plus d'ici peu de temps répondre à la demande de la population. Ce scénario ne tient pas compte des ressources en eau souterraines comme il est mentionné auparavant.

Au niveau des autres utilisations de l'eau, le scénario est le même. La pénurie en eau commencera à l'année 2021. Ce qui bloquera l'expansion hôtelière et touristique au niveau de la zone. Ou pire, des coupures d'eau au niveau des hôpitaux.

### 1.1.3 Le scénario : « Europe »

Le scénario « Europe » de ratio per capita 300l/j/personne envisage des demandes en eau plus exorbitantes en se basant par exemple sur la valeur de référence pour la consommation résidentielle Québécoise (Canada)<sup>32</sup>

Avec le même rythme de croissance que celle du scénario de base « fort accroissement de la population » les demandes sont nettement supérieures.

<sup>32</sup> Webographie: [Http : // aep. net](http://aep.net)

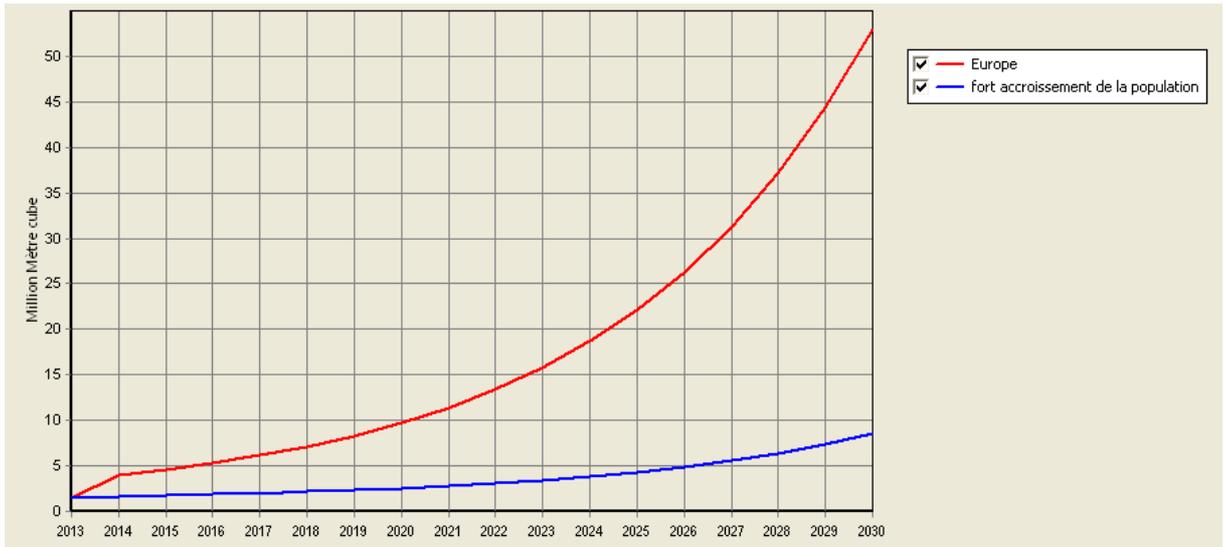


Figure 10 : Demande dans scénario Europe

Ce qui entraînerait une hausse de l'exploitation du lac Lohazozoro. Cette hausse de demande aura pour impact au niveau du volume du lac une descente disproportionnée.

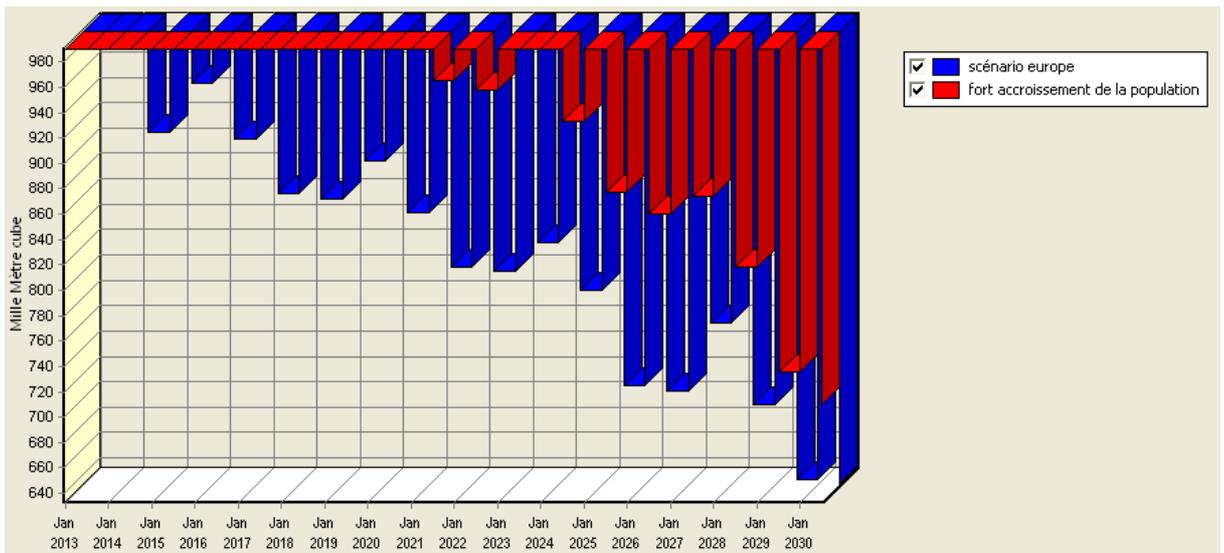


Figure 11: Volume au niveau du lac dans scénario Europe

Par rapport au scénario de l'étude, la baisse du volume sera ressentie dès la 2ème année d'étude. La baisse de 25% en 2024 prévu sera déjà atteinte à partir de l'année 2016. Cette forte demande va entraîner un épuisement de la ressource en eau. Donc, le lac Lohazozoro n'a pas la potentialité nécessaire pour satisfaire les besoins en eau pour les communautés Européennes. Mais, le scénario « Europe » est un cas extrémiste qui n'est pas adapté à la situation malgache. L'apport en eau nécessaire au bien être de la personne serait d'environ 100 à 150l.

## 1.2 Evolution de la qualité de la ressource en eau du lac Lohazozoro

A partir des critères de choix énumérés, les paramètres déterminant sont : la concentration en magnésium, en matières azotées et en matières organiques.

### 1.2.1 Evolution du magnésium

L'analyse de la série évolutive passée (cf. annexe 4) montre une augmentation progressive du taux de Magnésium dans le lac. Elle montre un apport de Magnésium par le milieu. Ces sources étant principalement l'érosion des sols du bassin versant. Le Magnésium au niveau du lac n'est pas fixé car le taux n'affiche aucune baisse.

Par rapport à l'évolution future, la courbe du scénario se traduit par la courbe ci-dessous :

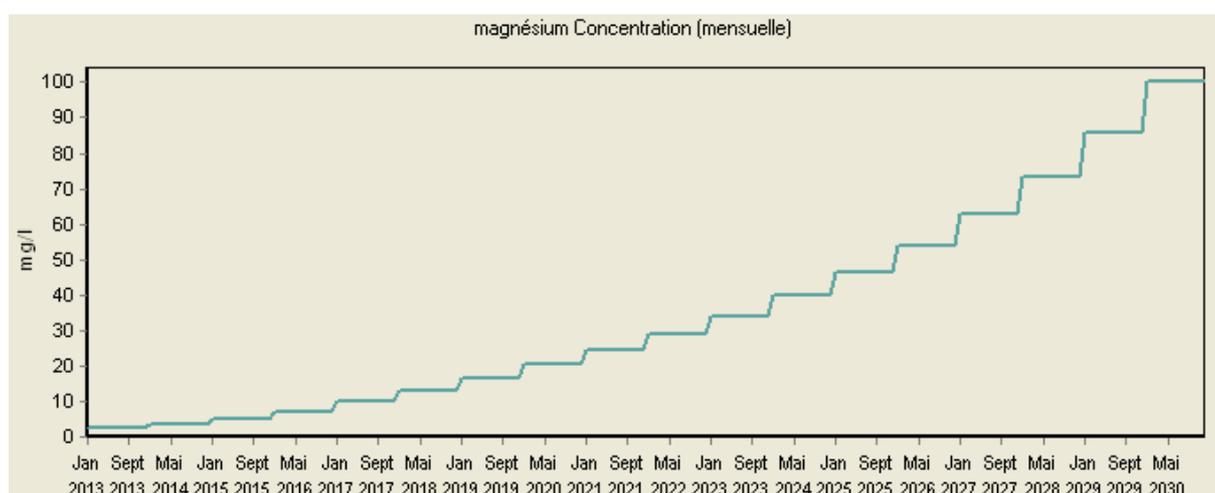


Figure 12: Evolution de la concentration en magnésium du lac Lohazozoro

L'évolution future du magnésium au niveau du lac correspondra à une fonction polynomiale croissante au cours du temps. Le paramètre magnésium est le paramètre qui dépasse le seuil de la norme malgache en 2026. En effet, la concentration de magnésium au niveau du lac Lohazozoro surpassera les 50mg/l à cette date. Cette forte concentration entrainera des effets laxatifs sur la population. Néanmoins, le pH ne dépassera pas la valeur de 9 (limite de pH au niveau de la norme malagasy). Malgré que l'élévation du pH dépende de la concentration en magnésium, la valeur limite du pH ne sera atteinte que si la concentration en magnésium sera de 350mg/l.

### 1.2.2 Evolution du taux de matière organique

La quantité de matière organique au niveau du lac est croissante. Elle suit une fonction logarithmique dont la valeur minimale est de 1,8. Cette valeur est déjà très importante. Cette

forte concentration en matière organique pose problème sur le traitement de l'eau. En effet, elle rend difficile la décantation par la formation d'un film sur la surface de l'eau traité. Ce film va par la suite se colmater sur les bords des ouvrages de traitement. Ce qui favorise leurs dégradation et augmente les entretiens des ouvrages de traitement des eaux. Cette croissance de la matière organique favorise également la prolifération d'un macrophyte : *Ceratophyllum demersum*. Le macrophyte est principalement responsable de l'existence du film en décantation. La tendance de cette espèce est cependant mono spécifique et elle inhibe la croissance des autres espèces aquatiques. Par conséquent, il est responsable d'une perturbation de l'écosystème aquatique et à long terme d'une perturbation de la vie et de l'alimentation des poissons. On observe également que la concentration en matière organique au niveau du lac n'atteint pas le seuil. La courbe ci-dessous montre cette tendance :

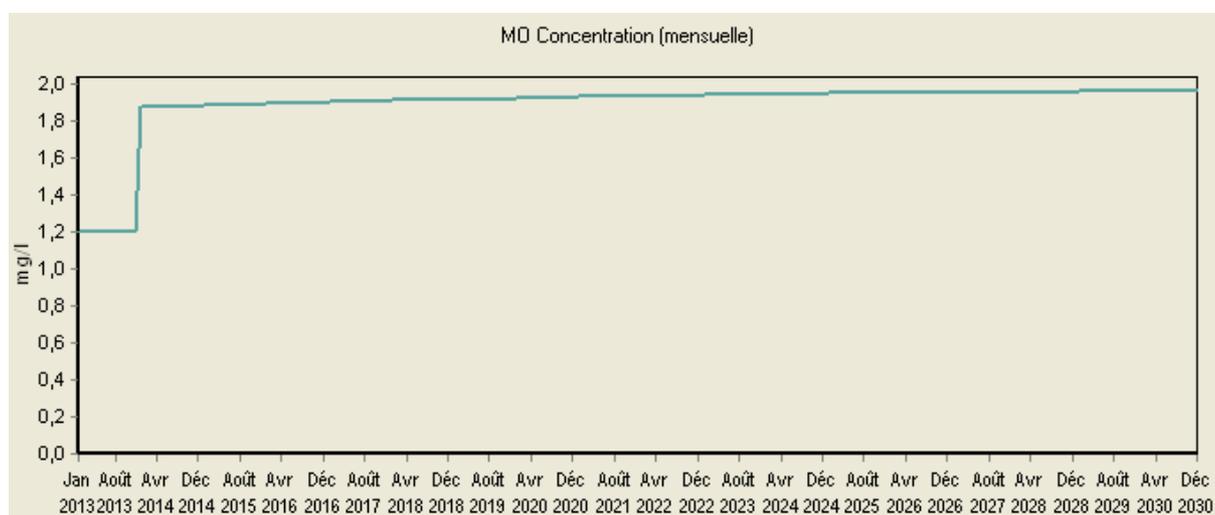


Figure 13: Evolution de la concentration en matière organique (mg/l)

### 1.2.3 Evolution de la concentration en nitrate

Le nitrate est apporté par les engrais chimiques utilisés par les paysans. On assiste à son accroissement au niveau du lac. Même si la concentration en nitrate n'atteint pas encore le seuil d'acceptabilité à l'année 2030, son augmentation est inquiétante. En effet, une forte concentration en azote au niveau d'une eau stagnante favorise l'eutrophisation. De plus que un apport en engrais chimique NPK 11-22-16 s'accompagne par un apport en phosphore. L'eutrophisation favorise la prolifération du *Ceratophyllum demersum* dont les conséquences ont été citées plus haut. L'eutrophisation est également responsable de la disparition de certaines espèces aquatiques et de certaines espèces de poissons.

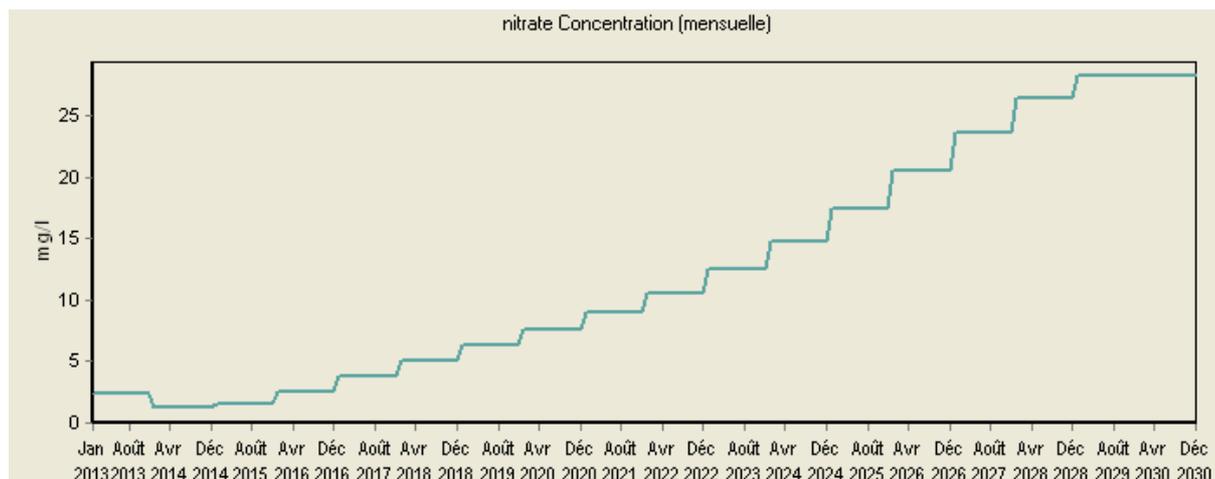


Figure 14: Evolution de la concentration en nitrate

### 1.2.4 Evolution de la qualité

La contrainte au niveau des respects de norme de la ville de Fenoarivo étant le seuil de la norme malgache sur les eaux de consommation, le recouvrement de la demande correspondra alors à une réponse à ces seuils par rapport aux paramètres étudiés.

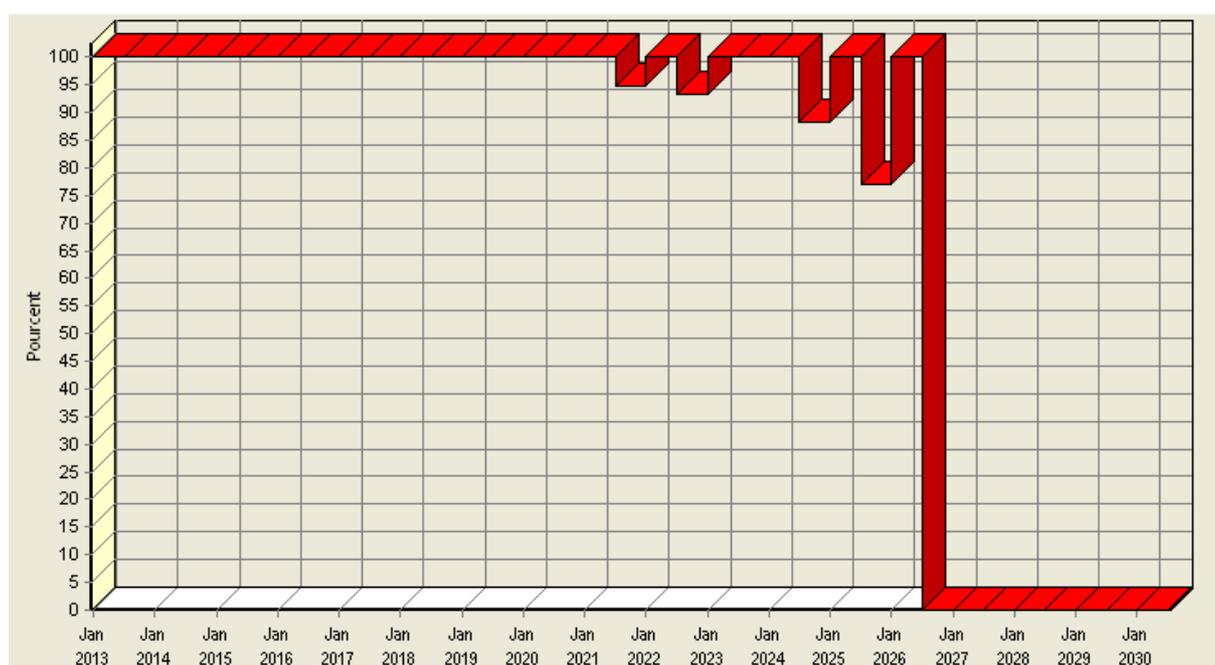


Figure 15: Etat global de la ressource (recouvrement)

La qualité de l'eau au niveau du lac Lohazoro ne correspondront plus aux normes malgaches des eaux de consommation à partir des années 2026. Les descentes précédentes cette date sont les dates de manque en quantité d'eau. (cf. recouvrement quantité). En 2026, la quantité d'eau sera inapte à diminuer la concentration en nitrate, en magnésium et en matières organiques dans le lac Lohazoro.

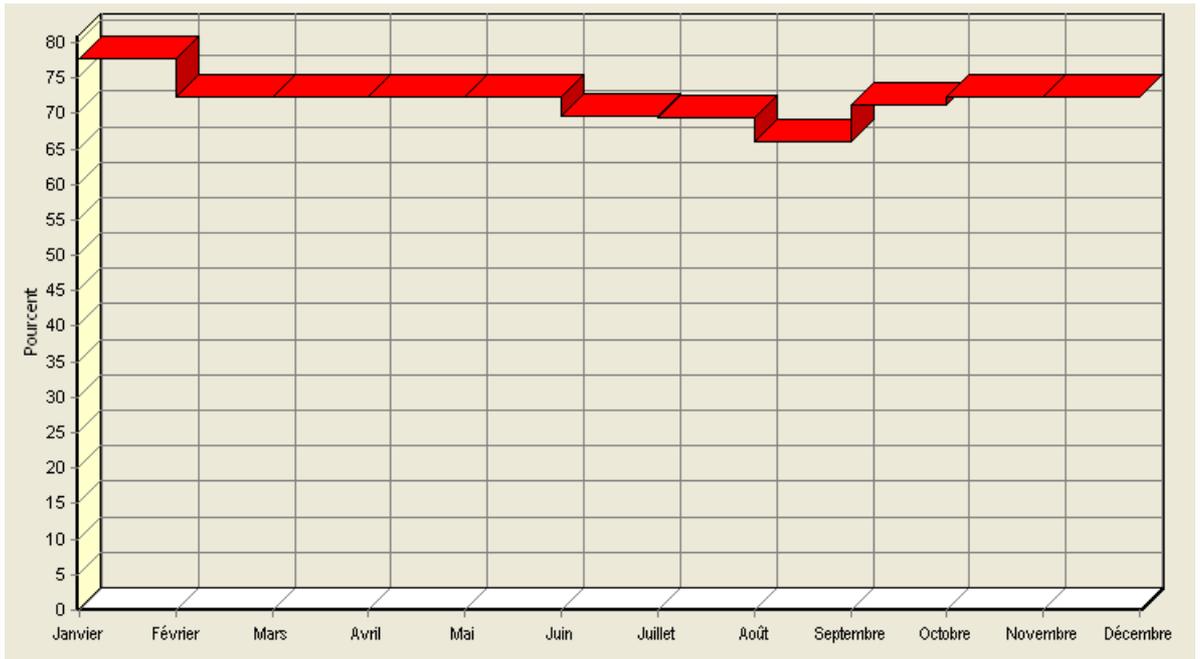


Figure 16: les mois de forte pollution

Les problèmes de traitement des eaux seront plus importants pendant la saison sèche. La cause étant que celle-ci augmente la concentration au niveau du lac.

### 1.2.5 Les générations de pollution

La courbe de génération de pollution est établie en vue de spécifier les zones qui produisent des risques de pollution.

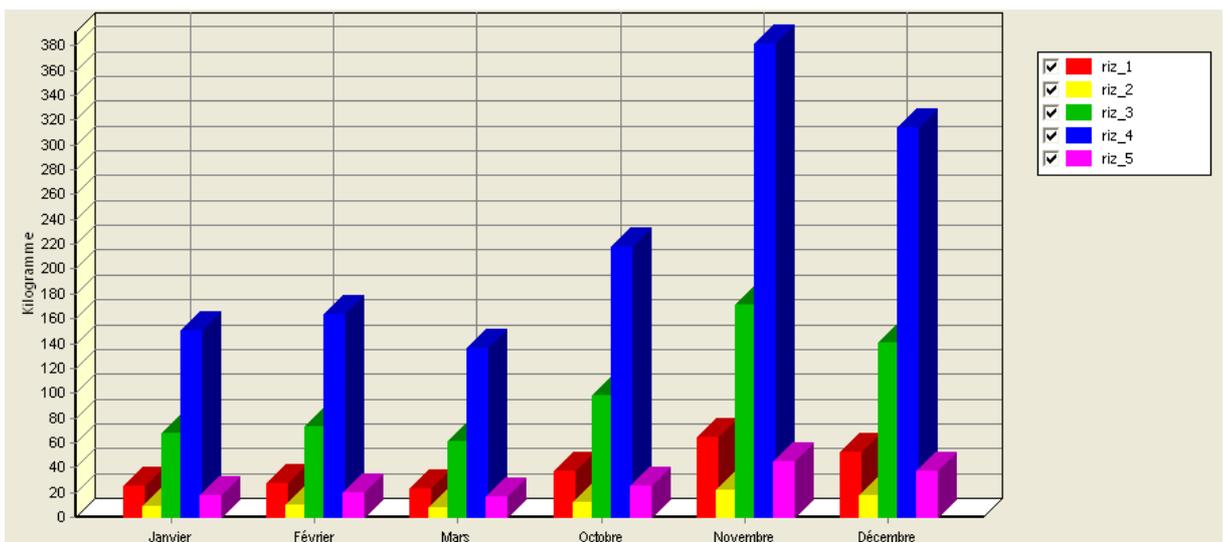


Figure 17: Génération de pollution

Ce graphe montre que quel que soit le mois prise en compte, les surfaces rizicoles 3 et 4 sont celles qui génèrent le plus de pollution. La cause étant en premier lieu leur surface mais

également qu'au niveau de ces zones, les sols nus et les zones d'habitation sont plus grandes. Cette graphe correspond à la génération de pollution concernant les matières organiques mais que ce soit le paramètre magnésium ou le paramètre nitrate, la tendance reste la même. Il n'y a que la valeur des apports qui varie.

### 1.3 Vérification des hypothèses

L'étude de l'évolution de la quantité montre une diminution de la quantité et son impact sur les demandes de la population. Les hypothèses de travail correspondent à la probable dégradation du bassin versant, à l'extension du réseau et à l'impact du changement climatique. Donc, Hypothèse 1 : « sur la base du système d'exploitation et des projections d'utilisation de l'eau, le volume de la ressource en eau au niveau du lac Lohazoro va diminuer et ne pourra plus satisfaire les besoins de la population environnante/ envisagée » est confirmée.

L'hypothèse 2 « vis à vis l'état actuel du bassin versant et des pollutions, la qualité de l'eau va se dégrader : les paramètres de la qualité de la ressource en eau vont dépasser les seuils admissibles de la norme malgache » est vérifiée. En effet, les éléments les plus pertinents dans la qualité de l'eau (nitrate, magnésium, matière organique) augmentent au cours du temps et dépassera la valeur maximale admise de la norme malgache à la fin des années 2030.

## **Partie 3 : Discussion**

---

Cette partie discussion s'intéresse à la méthode adoptée par rapport aux résultats obtenus.

### 1.1 Discussion par rapport aux données disponibles et à la méthode de travail

- Dans l'étude quantité

WEAP favorise l'étude de la quantité. Le principal problème dans la modélisation a été la quantification de la demande en eau des plantations rizicoles. Cela nécessite des études des aménagements hydro- agricoles pour répondre aux besoins réels au niveau du site.

Un autre problème se trouvant sur le niveau de la retenue. En effet, WEAP 21 pourrait mieux modéliser la ressource avec des données plus précises du volume de l'eau du lac en fonction de la hauteur d'eau. Mais, des études bathymétriques dans ce sens restent encore limitées. Cela nécessite aussi l'étude de la mise en place de station de mesure.

Les visites sur terrains ne permettent pas l'évaluation de la perte en eau réelle par les systèmes d'irrigation. En effet, l'estimation de la destruction de la diguette par le vue est source de biais.

La valeur de la demande par la personne est nettement inférieure à celle qui se trouve dans le code de l'eau. L'utilisation de celle-ci dans la donnée de calcul de WEAP 21 augmenterait la valeur des utilisations. Mais, comme la demande en eau au niveau des complexes hôteliers dépasse les 30L/j (code de l'eau), les valeurs se complèteraient.

- Dans l'étude qualité

Le manque de données pour l'analyse de l'évolution temporelle des paramètres pose problème. Pour magnésium et matières organique, les données ont été disponibles depuis 2007. Mais par rapport aux données sur la concentration en nitrate, la période d'étude est très courte (depuis 2009).

L'étude de l'évolution des paramètres au niveau de l'année est incomplète. En théorie, les prélèvements et les analyses doivent se faire tous les trois mois. Mais les données disponibles sont issues de prélèvement à des temps très aléatoires. Donc les valeurs mensuelles des paramètres ont été calculées à partir de la moyenne des valeurs mensuelles depuis 2009 à 2013 et faisant correspondre les mois d'analyse au mois de l'année.

Une analyse d'évolution du pH au cours du temps montre une relation de celle-ci avec le Magnésium. Mais, les courbes de tendance ne sont pas superposables. Ce qui pourrait être source de quelques erreurs des valeurs mais qui n'influence que peu la tendance d'évolution du pH.

WEAP ne modélise pas la qualité au niveau de la retenue c'est-à-dire l'évolution des paramètres qualité au niveau de ceci. Néanmoins, on peut évaluer l'évolution des paramètres en introduisant au niveau du site de demande une contrainte. Le dépassement des limites acceptables au niveau du site de demande déterminera à quel la date à laquelle l'eau nécessitera plus de traitement adéquat. Mais pour étudier l'évolution de la qualité de l'eau, il faudra créer une rivière « out flow » dans le logiciel WEAP 21 qui correspond à la station de mesure.

## 1.2 Discussion par rapport aux résultats

- Dans l'étude quantité

L'hypothèse 1 concernant la réduction de la quantité d'eau au niveau du lac est confirmée. En effet, si la tendance actuelle d'utilisation et de gestion du bassin se poursuit, le niveau du lac diminuera de 37% et 25% de la population ne disposera pas d'eau dans le futur. Les résultats sont exactes mais les effets de la baisse du volume du lac Lohazozoro se fait déjà ressentir. Ces biais sont du fait que l'année de départ de scénario est l'année 2013 et également car on a introduit les données du lac depuis les années 2000.

Pour stopper la baisse de l'eau du lac, on serait tenté d'éliminer les zones rizicoles en amont du bassin. Cela pourrait diminuer la demande en eau. Afin de faire cette analyse, on a introduit un scénario nommé « priori retenue par rapport riz ». Mais, on a observé que le volume d'eau du lac et la baisse change légèrement par rapport au scénario de l'étude (« fort accroissement de la population »).

A partir de l'année 2020, l'étude de réalimentation du lac Lohazozoro serait nécessaire. Certaines propositions ont été avancées de pomper la rivière Andromba vers le lac. Malgré que les demandes des surfaces rizicoles n'affectent la quantité d'eau du lac, elles favorisent l'envasement qui diminue le volume stocké par le lac. Il faut donc lutter activement contre l'érosion des sols par des plantations d'arbres sur les domaines de l'Etat et favoriser la culture sous couverture végétale ou l'agroforesterie sur les terrains de culture.

- Dans l'étude qualité

La qualité de l'eau au niveau du lac Lohazozoro risque de se dégrader. Si la tendance des activités et des érosions actuelles se poursuit, le lac Lohazozoro ne sera plus exploitable pour produire de l'eau potable. Les paramètres les plus affectés par la dégradation sont le magnésium et les matières organiques. Néanmoins, l'environnement au niveau du bassin versant du lac Lohazozoro ne cesse de se dégrader. En effet, les forêts et les savanes sont transformées en terrains de culture avec de forts espacements ou en des zones d'habitations avec de faible couverture du sol. Cet espacement entraîne le transport des engrais azotés et des matières organiques vers les eaux. Tandis que le taux de magnésium disponible et/ou apporté par les ruissèlements va diminuer, la quantité de nitrate et de matière organique va nettement augmenter. Cette tendance va nécessiter beaucoup de traitement de la part de la JIRAMA, l'ajout de flocculant et peut être la mise en place de nouvelle structure de traitement.

La dégradation de la ressource en eau au niveau du lac Lohazozoro ne se limitera plus d'ici quelques temps aux problèmes de traitement de la JIRAMA. En effet, chaque paramètre qualité va affecter l'écosystème aquatique, la vie et l'abondance des poissons, les cultures environnantes et enfin, la vie des populations environnantes et des complexes hôteliers.

## **Partie 4 : Recommandations et perspectives**

La dégradation de la qualité et la diminution de la quantité de la ressource en eau au niveau du lac Lohazozoro peut être atténuée ou stoppée. La mise en place de périmètre de protection doit se faire le plus rapidement possible. Il y également la rationalisation de la ressource en eau. Et pour remédier à la dégradation de la qualité de la ressource en eau, quelques améliorations peuvent être apportées au traitement.

### 1.1 La mise en place de périmètre de protection

La protection des points de prélèvement des eaux destinées à la consommation humaine est réalisée par la mise en place de deux périmètres, l'un de protection immédiate, l'autre de protection rapprochée, complétés éventuellement par un troisième périmètre, dit de protection éloignée. Ces trois systèmes de protection sont des alternatives du code de l'eau et sont régis par le Décret N° 2003-940 du 09 septembre 2003 relatif aux périmètres de protection.

#### 1.1.1 Protection immédiate

Le périmètre de protection immédiate est formé par les surfaces aux abords du lac. Le terrain doit être clôturé, sauf en cas d'impossibilité. Toutes les activités y sont interdites à l'exception de l'exploitation et l'entretien des équipements et des activités autorisées dans l'acte d'autorité publique.

Les terrains compris dans ce périmètre doivent être acquis en pleine propriété par l'exploitant (JIRAMA). Une bande d'arbres de 10 à 15 m<sup>33</sup> suivant les pentes mais ces dimensions exactes demanderaient des études hydrogéologiques et hydrologiques de la ressource et une estimation des risques encourus par les ouvrages d'exploitation.

Des reboisements doivent être effectués au niveau de cette zone en plus d'un grattage des fonds envasés et des zones de colluvions (zone plantée). Les résineux ne peuvent pas être recommandés car ils pourraient être source de pollution<sup>34</sup>.

*Acer saccharinum*<sup>35</sup> ou Érable argenté qui est un feuillu noble. C'est une plante héliophile ou de mi-ombre. Elle s'adapte au sol à humidité élevée donc il est adaptée à l'humidité du sol du bord du lac.

---

<sup>33</sup> (ROY 2007)

<sup>34</sup> (TAKEDA, FUKUSHIMA et SOMURA 2009)

<sup>35</sup> [www.iqdho.com](http://www.iqdho.com)

Malgré son enracinement superficiel, il a la capacité d'assurer une bonne stabilisation car ces racines sont assez puissantes et envahissantes. On l'utilise contre l'érosion, et parfois comme brise vent. Sa croissance plus ou moins rapide ce qui permet une protection dans de bref délais. Cette espèce supporte la pollution. Elle tolère également les sols compacts donc ne nécessite pas de sous solage.

C'est un grand semencier, qui peut-être même envahissant diminuant ainsi les problèmes de semences.

Il y a également *Fraxinus nigra*<sup>36</sup> ou Frêne noir qui est une plante héliophile supportant une humidité élevée du sol. Sa croissance est plus favorisée en terrain loameux à argileux mais elle s'adapte au sol limoneux. Cependant sa croissance est moyenne. Néanmoins, cette espèce tolère les pollutions urbaines et aux pollutions ménagères

La plantation nécessite en général un trou de 40×40×40 cm avec un espacement de 2m×2m donc une densité de 2500 plants /ha. Par rapport aux soins sylvicoles, des débroussaillages et des éclaircies permettent la production de bois d'œuvre. Au niveau de la bande riveraine, il faut favoriser l'accroissement de plantes herbacées.

### 1.1.2 Protection rapprochée

Cette zone intègre les terrains où la culture est indispensable pour la survie de la population. La délimitation de cette zone est faite à partir d'une enquête publique prescrite par arrêté du Ministre chargé de l'eau et en intégrant les représentants des Ministères et des organismes concernés par sa mise en place (ANDEA, Ministère de l'eau, Ministère de l'Aménagement du territoire,...).

En France, le temps de transfert entre la pollution et le captage retenu est d'environ 50 jours, ce qui représente suivant les terrains une surface comprise entre 1 et 10 hectares. L'étude de l'évolution de nitrate permet d'estimer le transfert entre la source au lac à environ 30 j, ce qui serait une surface de 1 à 6 ha. La zone de protection rapprochée doit donc être supérieure à cette valeur. Des mesures de police sous forme d'interdictions et de réglementations sont appliquées. Ainsi, les autorisations de rejet ou d'épandage seront notamment examinées. Les activités de production ; les activités nautiques ou de loisirs sont

---

<sup>36</sup> [www.iqdho.com](http://www.iqdho.com)

soumis à des autorisations. Il en est de même pour les activités présentant des risques de pollution.

Au niveau de cette zone, chaque agriculteur est responsable du terrain qui lui est administré. On pourrait proposer comme plante d'accompagnement :

*Leucaena leucocephala* qui peut être en association avec des cultures vivrières par plantation en bande ou intercalée ou pour ombrager les cultures sciaphiles et/ou servir de tuteur de cultures grimpantes. Elle est utilisée pour la protection de talus ou du sol en pente. Elle présente également un usage pharmaceutique ou une alimentation pour le bétail. Ces feuilles sont riches en protéines digestibles.

*Harungana madagascariensis* qui s'adapte à un milieu de pluviométrie annuelle entre 1000 - 2000 (3000 mm) et une température moyenne annuelle de 16 à 24°C. Cette plante est à reproduction végétative par rejets de souches. Elle peut être en régime de futaie ou de taillis. Ces soins sylvicoles consistent en des nettoiemnts, en éducation collective, en élagage dès l'état de fourré recommandé. Le *Harungana madagascariensis* est favorable à la protection des bassins versant par sa croissance rapide (2 à 3 m de hauteur par an).

*Canjanus cajans*<sup>37</sup> permet de lutter contre le ruissellement et fournit une litière permettant la restitution des éléments fertilisants au sol. Ces plantations sont comme des jachères améliorées que l'on propose lors des non culture de riz. Ce qui permet une reconstitution du stock en nitrate et en éléments fertilisantes.

Certains projets africains ont mis en place la plantation de culture simultanée comme le manioc en fin de culture et les haricots ou le riz inondé et le maïs.

Mais on peut avoir recours à L'utilisation de la dolomie, du fumier de ferme, des phosphates naturels, bananier, guano<sup>38</sup> apporte des fertilisants naturels N, P, K, Ca et Mg, ... et conditionne le rendement des sols ferrallitiques acides des Hautes Terres malgaches. Il est conseillé de les mettre à une profondeur de 20 à 30 cm du sol afin d'éviter les apports des nutriments par les eaux de ruissèlement.

---

<sup>37</sup> Source spécifiée non valide.

<sup>38</sup> (RATSIVALAKA et al. 2007)

### 1.1.3 Protection éloignée

La mise en place d'un périmètre de protection éloignée dépend d'une forte pollution. Elle ne serait pas nécessaire dans le site d'étude.

Malgré que l'étude de la pollution des eaux souterraines par les fosses perdues n'ait pas pu être entamée, des études ont pu démontrer la possibilité de la pénétration et de la propagation des polluants au niveau des eaux souterraines (ALBINET et MARGAT 1971). Cette pollution entraîne aussi la présence et la prolifération de microbes fécaux au niveau des eaux souterraines. Ces pollutions affectant les eaux de consommation qui toucheront en premier lieu les populations non abonnées, les animaux consommant l'eau et les consommateurs des produits issus de la région. Alors, des actions devront être entamées pour limiter ces impacts. En notant que la pollution des nappes mais aussi des eaux du lac se fait sur les endroits en contact avec celle-ci ; notamment les zones de basses altitudes sont les plus favorables, les habitations et les constructions polluantes ne devraient pas être permises près du lac. Ce qui favoriserait la mise en place de périmètre de protection sur les endroits sensibles. Il est alors vivement recommandé des études hydrogéologiques et hydro biologiques afin de compléter ce mémoire.

### 1.2 La rationalisation de la ressource en eau

Dans le cadre de l'amélioration de la production en eau, il est à envisager la réalimentation du lac à partir de la rivière d'Andromba pour satisfaire les besoins en eau. Pomper cette eau amènerait à diminuer le volume extraite du lac.

Le système de police de l'eau qui a été mis en place devrait être renforcé. En plus de la contrôle des délits par rapport à la création de pisciculture en utilisant l'eau de consommation, le gaspillage de l'eau par l'ouverture sans interruption du robinet ou l'arrosage automatique sans surveillance nécessiterait de la vigilance. Ce qui nécessiterait une augmentation du nombre des agents. Mais on peut également intégrer la population comme association pour la protection des bassins versant ou en tant qu'association d'usagers de l'eau.

L'étude de schéma directeur relative à la ressource en eau serait vivement envisageable permettant la gestion rationnelle de ressource en eau.

### 1.3 Traitement de l'eau

Le traitement de l'eau au niveau de la station de Vontovorona comprend deux files de traitement complet constitué par deux décanteurs statiques (horizontaux) suivi par deux filtres

à sables à ciel ouvert passant par la coagulation, la floculation, la décantation, la filtration, la désinfection et la neutralisation avec comme coagulant (sulfate d'alumine / $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ) : 9 à 15g/m<sup>3</sup> – comme désinfectant (hypochlorite de calcium / $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ): 2 à 3g/m<sup>3</sup>- et comme neutralisant (chaux éteinte/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) : 3 à 5g/m<sup>3</sup> (1/3 sulfate d'Alumine). On permet de proposer l'adoption d'infrastructures de traitement plus souples et plus évolutives (traitement par filtre membrane).

#### 1.4 Plan d'action

##### 1.4.1 Objectif 1 : protéger la ressource

Sous objectif 1 : diminuer l'apport terre au lac

Résultats attendus : diminution des pertes en terre de 50%

Activité	Sous- activité	Echéance	Responsable	Indicateur (IOV)	Source de vérification
Mise en place de périmètre de protection immédiate	Reboisement sur une bande riveraine	1 an	Exploitant	10 à 15 m autour du lac est planté	Rapport d'activité

Sous objectif 2 : diminuer les apports des polluants

Résultats attendus : aucune variation des valeurs des paramètres de qualité

Activité	Sous activité	Echéance	Responsable	Indicateur (IOV)	Source de vérification
Mise en place de périmètre de protection rapprochée	Création d'association des propriétaires de terrains au niveau du périmètre de protection rapprochée	3mois	Exploitant (JIRAMA)	Existence d'association des propriétaires de terrains au niveau du périmètre de protection rapprochée	Rapport du responsable de la station de la JIRAMA
	Mise en place	1 ans	Propriétaires	Pourcentage de	Rapport de

	de culture intercalée ou de bande d'arbre au niveau des champs		des terrains au niveau du périmètre de protection rapprochée	terrain avec des bandes d'arbre ou/et des cultures intercalées	l'association des propriétaires des terrains au niveau  Rapport du responsable de la station de la JIRAMA
	Remplacement de l'utilisation d'engrais chimique par des engrais verts, des arbres agroforestières	3 mois	Propriétaires des terrains au niveau du périmètre de protection rapprochée	Pourcentage de terrain utilisant des engrais vert ou des arbres agroforestières	Rapport de l'association des propriétaires des terrains au niveau  Rapport du responsable de la station de la JIRAMA

#### 1.4.2 Objectif 2 : diminuer l'exploitation du lac

Résultats attendus : atténuer la baisse de volume

Activité	Sous activité	Echéance	Responsable	Indicateur (IOV)	Source de vérification
Rationaliser l'utilisation de l'eau	Mise en place de police de l'eau	1ans	L'Etat sous la demande de la société JIRAMA	Existence de police de l'eau	Rapport du responsable de la station de la JIRAMA
	Sensibilisation des ménages par rapport au gaspillage de l'eau	3 mois	JIRAMA	Quantité d'eau gaspillée par ménage	Rapport enquête sur l'utilisation de l'eau
Pomper eau de			JIRAMA	Quantité d'eau	Rapport du

la rivière Andromba				pompée depuis la rivière d'Andromba	responsable de la station de la JIRAMA  Rapport d'activité de la JIRAMA
------------------------	--	--	--	----------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------

#### 1.4.3 Objectif 3 : diminuer impact de la pollution de l'eau aux consommateurs

Résultats attendus : l'eau distribuée répond aux normes malgaches de la qualité de l'eau de consommation

Activité	Echéance	Responsable	Indicateur (IOV)	Source de vérification
Mise en place de filtre membrane au niveau du traitement de l'eau	1 an	JIRAMA	Qualité de l'eau distribuée	Rapport du responsable de la station de la JIRAMA  Rapport d'activité de la JIRAMA



## **Conclusion**

L'étude a été focalisée sur le lac Lohazoro considéré comme ressource en eau par la JIRAMA, face à son importance pour l'alimentation pour la ville d'Antananarivo et ses périphéries. Ce qui permettrait au niveau de la méthodologie la mise en échelle au niveau des centres villes de Madagascar, notamment les 66 centres de la JIRAMA.

Une étude de la quantité a permis de conclure que le gaspillage des eaux au niveau de l'irrigation, la forte demande et le changement climatique vont aboutir à la diminution du volume d'eau de plus 50% d'ici les années 2030. Les mois les plus affectés par les baisses se trouvent être les mois de Mai, juin, juillet, août, septembre, octobre. Cela entraînera une baisse du recouvrement de 25% en 2022 .

Par rapport à la qualité, les apports en nitrate, en matière organique et en magnésium vont conduire , si les méthodes de culture ne changent pas, à une dégradation de la ressource en eau au niveau du lac Lohazoro. Le paramètre magnésium est le paramètre qui dépasse le seuil de la norme malgache en 2026. En effet, la concentration de magnésium au niveau du lac Lohazoro surpassera les 50mg/l à cette date. Mais cette élévation n'aura effet sur le pH de l'eau que si la concentration en magnésium atteint 350 mg/l. La concentration en matière organique sera de 1,9 en fin de projection, ce qui est très élevée. La concentration en nitrate de l'eau du lac Lohazoro atteint les 25mg/l à la projection. Cette valeur représente la moitié du seuil d'acceptabilité de la norme de la qualité de l'eau de consommation à Madagascar. Par conséquent, la qualité de l'eau au niveau du lac Lohazoro ne correspondront plus aux normes malgaches des eaux de consommation à partir des années 2026. Cela aura pour conséquence des problèmes de traitement des eaux et une perturbation de l'écosystème aquatique au niveau du lac. Le lac Lohazoro ne pourra plus répondre au norme de qualité pour les eaux de consommation à partir des années 2026.

L'hypothèse concernant la diminution de la quantité d'eau au niveau du lac Lohazoro est confirmé. En effet, les gaspillages d'eau par la destruction des diguettes et la diminution de la précipitation par la changement climatique entrainera la diminution du volume d'eau au niveau du lac Lohazoro. Cette diminution à conduit à la non satisfaction des besoins des populations environnantes et envisagée, comme ce qui a été proposée dans l'hypothèse. La seconde hypothèse se trouve également confirmé car la projection montre une dégradation de la qualité de l'eau qui entraine la non –consommabilité de celle-ci. L'état du

bassin dont l'érosion et la pollution par les occupations humaines sont réellement les causes de la dégradation de la qualité de l'eau du lac.

Les résultats concernant la quantité traduisent l'état réelle de la ressource en eau du lac Lohazozoro car les pénuries en eau prévues sont déjà observées au niveau de la quantité pouvant être exploitée. Les résultats de la qualité ne sont pas encore ressentis mais on observe actuellement l'envahissement du lac par un macrophyte : *Ceratophyllum demersum*. Alors que ce macrophyte peut être signe d'une eutrophisation. Néanmoins, comme la société JIRAMA prévoit de pomper l'eau à partir de la rivière d'Andromba, la diminution du volume d'eau du lac peut être ralentie. L'étude sur la qualité de l'eau n'est pas complète. Elle nécessiterait une étude hydrogéologique afin de prévoir l'impact des pollution sur les ressources souterraines.

La solution proposée sera la mise en place de périmètre de protection visant à une protection des sols du bassin versant pour diminuer les apports terrièrs. Des haies et des plantations forestières permettraient de fixer les sols et du même coup une grande partie du magnésium et des matières organiques. L'Agroforesterie et le SCV (culture sous couverture végétale) aurait le même impact mais en ajoutant le fait d'améliorer la fixation des éléments nutritifs au sol. Pour le paysan, cela diminuerait l'apport nécessaire en nitrate.

Les solutions et les actions doivent faire participer la population locale. Cela diminuerait, en premier lieu, les coûts de mise en place. En deuxième lieu, une inclusion de la population permettrait une baisse des besoins d'entretiens. Mais, elle nécessiterait des sensibilisations et une acceptation du projet par la population. Dans le cadre de l'étude du schéma directeur de ressource en eau envisagé, la JIRAMA suivra les activités correspondantes et veiller à leur avancement.

Pour une meilleure protection des ressources, une étude de l'évolution des ressources en eau souterraine devrait être effectuée. Elle constituerait une étude à long terme des activités humaines sur la quantité et la qualité des eaux des nappes souterraines, et ensuite, une étude sur l'impact de la diminution et de la dégradation des eaux souterraines sur les eaux de surface.

## Bibliographie

Global Water Partenership. *Manuel de Gestion Intégrée des Ressources en eau par Bassin*. Suède: Elanders-www.gwptoolbox.org., 2009.

AHMED, ANISSA. *Etude des impacts sanitaires, sociaux, et environnementaux liés à la pollution des eaux du lac Masay*. Ecole Supérieure Polytechnique- UFR Science Economique et de Gestion de Bordeaux IV-Mémoire de Diplôme d'Etude Spécialisée-option Etude d'Impact Environnementaux , 2007.

ALBINET, M., et J. MARGAT. *Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines*. Moscow: Rapport du Symposium de Moscow sur la pollution des Eaux Souterraines, 1971.

AMBROISE, Bruno. *La dynamique de la cycle de l'eau dans un bassin versant*. Bucarest : Edition HGA- Gestion et protection de la ressource en eau, 1998.

AMRANI, KhalidEL. *La pollution de l'eau et ses impacts*. Formation de formateurs «Eau & Développement Durable», 2007.

ANDRIANASY, Tsanta Henitsoa, et Berry Ariniaina Ralf RAKOTONANDRASANA. *Contrôle qualité physico-chimique et bactériologique de quelques échantillons d'eau et stérilisation des réseaux de distribution d'eau potable*. Antananarivo: Université d'Antananarivo- Faculté des Sciences- Département de Chimie Minérale et Chimie Physique- LISTE- Mémoire de fin d'étude pour l'obtention de diplôme de Licence d'Ingénierie en Science et Technique de l'Eau, 2013.

AUGERAUD, Patrick, et Myriam TOUATY. *Consommation d'eau par le secteur Industriel* . Etude conduite par Planistat France pour le compte du Ministère de l'Ecologie et du Développement durable-Direction des Etudes et de l'Evaluation Environnementale (D4E)- Sous-Direction des Politiques Environnementales- Rapport final-PLANISTAT FRANCE, 2002.

BARRAQUE, Bernard, et all. *focus/ l'eau*. 2009. <http://cnrs.fr>.

BD JIRAMA . «BD JIRAMA.» 2012.

BOHRER, J.L, et R ANDRIAMANAMPY RAKOTOZAFY. *Salmonelles, Edwardsiella tarda, Pseudomonas putrefaciens et pollution bactérienne des eaux de l'Ikopa en aval de Tananarive*. Tananarive: Arch.Institut Pasteur de Madagascar, 1976.

BOMMELAER, O, et J DEVAUX. *Coût des principales pollutions agricoles de l'eau*. Paris: CGDD Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable-document numéro 52, 2011.

*Code de l'Eau*. 1999.

COMBES, Yolande, et all. *Madagascar perd 201 milliards MGA chaque année à cause d'un mauvais assainissement: IMPACTS ÉCONOMIQUES D'UN MAUVAIS ASSAINISSEMENT EN AFRIQUE*. Mars 2012. <http://www.wsp.org> (accès le 2013).

*Décret 2003-941 sur la surveillance de la qualité de l'eau de consommation*.

DUBOIS, A, et L LACOUTURE. *Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux. Période 2007-2009*. Paris: CGDD Service de l'observation et des statistiques-Etudes et documents du CGDD N° 54, 2011.

FAO. *Épuisement des ressources en eau douce*. 2006. [www.fao.org](http://www.fao.org) (accès le Novembre 2013).

Interview par JIRAMA. *Fiche d'enquête sanitaire Vontovorona* (30 juillet 2004).

GOAS, Henry LE, et all. «Outil de calcul de l'Eau Grise dans le concept de l'Empreinte Eau : aide à la mise en oeuvre de la DCE pour un système d'assainissement.» *NOVATECH 2010*, 2010: 1-9.

HUGONIN, Patricia. *Introduction aux thématiques de l'eau*. ISE, UNIGE, 2011.

IME. *Etude sur l'économie de l'eau chez les consommateurs- Etude de cas: France, Espagne, Maroc et Tunisie*. Marseille (Paris): Institut Méditerranéen de l'Eau (IME), 2002.

JIRAMA. (décembre 2013).

JIRAMA-DEXO. (décembre 2013).

MAKSIM, Lucien G. *Contribution à l'étude d'impact environnementaux de l'extraction de sable sur la rivière Ikopa*. Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo-DESS-EIE, 2007.

MARTINAND, Jean Louis. *INTRODUCTION À LA MODÉLISATION*. 2007.

«Chapitre 3 : Eau.» Dans *Rapport sur l'Etat de l'Environnement à Madagascar*, de MEF, 62-100. Madagascar, 2012.

MEF: Ministère de l'Environnement et des Forêts. *Ecosystème aquatique* . 2009.

Ministère de Développement durable, de l'Environnement de la Faune et des Parcs Québec. *Critères de qualité de l'eau de surface, 3e édition*. Québec: [www.mddefp.gouv.qc.ca](http://www.mddefp.gouv.qc.ca), 2013.

Ministère de France d'Outre-mer. *Etude hydrologique de l'Ikopa et de la Betsiboka*. Antananarivo: Ministère de la France d'Outre -mer, 1958.

O.P.Obasi, Godwin. *Y aura-t-il assez d'eau sur la terre?* Organisation Météorologique Mondiale, 1997.

*Plan Communal pour le Développement- Commune Alakamisy* (2010).

RAISSA, et Niandrinisainana RABEHERIMINO. *Evaluation et contribution a la pérennisation de la qualité d'eau de surface: cas du Lac Vontovorona*. Université d'Antananarivo-Faculté des Sciences- Mémoire pour l'Obtention de diplôme de Licence d'Ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau, 2013.

RAKOTONDRABE, Felaniaina. *Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21 : cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar)*. MEMOIRE DE RECHERCHES DIPLOME D'ETUDES APPROFONDIES\_ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE D'ANTANANARIVO, 2007.

RAKOTORAHALAHY, Joeliharisoa. *ETUDE DE LA VULNERABILITE DESressources en eau aux variations climatiques, critique méthodologique: cas du lac Lohazozoro*. Université d'Antananarivo, Ecole Supérieure des Sciences Agronomique \_mémoire de fin d'étude pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA), 2011.

RAMANKATSOINA, Jean. *Agriculture Urbaine et Périurbaine :Vers une meilleure compréhension des organisations des producteurs à bas revenus*. Antananarivo et ses environs: Projet GCP/INT/955/CAN-FAO, 2006.

RAMAROSON, Hantamiary Roger Florent. *Analyse des impacts économiques de la mise en place d'un système de protection des zones de captage d'eau de la Jirama dans le bassin versant de Mandaratsy/Antarambiby*. Antananarivo: Mémoire de Diplôme d'Études Supérieures Spécialisées option : « études d'impacts environnementaux »-Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo-centre de formation aux sciences de l'information géographique et de l'environnement, 2004.

RASOLOMANANA, E., et all. *Problèmes de pollution des ressources en eaux posés par les déchets industriels et ménagers dans la ville d'Antananarivo et de ses environs*. Madamines, ISSN 2220-068, vol-2, 2011.

RATIARISON, Solofoniaina Herimampionona. *La science et la technologie moderne de l'information géographique et foncière face à l'envasement du lac Lohazoro*. Mémoire de fin d'Études en vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Géomètre Topographe/ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE, 2012.

RATSIMBAZAFY, J.B, et A.H RAKOTO. «Les eaux industrielles à Madagascar.» *Mada-Géo n° 01*, 1998: 16-17.

RATSIVALAKA, Simone Randriamanga, et et all. *Restauration et gestion de la fertilité des sols du bassin versant de Maniandro sur les hautes terres centrales de Madagascar*. Journées scientifiques inter-réseaux hanoi-2007-Gestion intégrée des eaux et des sols-ressources, aménagements et risques en milieux ruraux et urbains, 2007.

RAZAFIMANJATO, Jocelyn Yves. *RECENSEMENT GENERAL DE LA POPULATION ET DE L'HABITAT*. INSTAT, 1997.

RAZAFINJATO, Gérald. *Sécurité et renforcement de l'approvisionnement en eau d'Antananarivo par le lac Lohazoro*. Vontovorona: Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo-Mémoire d'Ingénieur, 1989.

REMENIERAS, G. *Elements d'hydrologie appliquée*. Paris : collection Armand Colin-n° 343, section électricité, 1960.

RODIER, Jean, Bernard LEGUBE, nicole MERLET, et coll. *Analyse de l'eau*. Paris: DUNOD-9<sup>ème</sup> édition, 2009.

ROY, Alexandra. *Atelier de reboisement des bandes riveraines*. Agente de recherche en environnement-MRC de Memphrémagog, 2007.

SMITS, Stef. *LoGo Water – Vers une participation efficace des gouvernements locaux à la Gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) dans les bassins fluviaux de la Communauté de développement d’Afrique australe (SADC):Termes clés et définitions*. LoGo Water, 2005.

STEINFLED, Henning, et all. *L'ombre portée de l'élevage: impacts environnementaux et options d'atténuation*. LEAD et FAO, 2006.

Stockholm Environment Institute. *Tutorial WEAP*. SEI, 2008.

TAKEDA, Ikuo, Akira FUKUSHIMA, et Hiroaki SOMURA. *Long term trend in water quality in an under populated watershed and influence of precipitation*. Journal of water and environment technology- Vol 7- No 4, 2009.

UNESCO. *La pollution de l'eau continue de croître dans le monde entier*. 2009. <http://unesco.org> (accès le 2013).

WWF. *L’empreinte eau de la France*. Paris: WORLD WILDLIFE FUND, 2012.

[www.lozere.fr](http://www.lozere.fr). <http://www.lozere.fr>.

# Annexes

---

## Sommaire

Annexe 1 : les paramètres quantités .....	iii
1.1 Le bilan hydrologique.....	iii
1.2 Les apports.....	iii
1.2.1 Le ruissèlement .....	iii
1.2.2 L'interception .....	iii
1.3 Les prélèvements .....	iii
1.3.1 L'évaporation .....	iii
1.3.2 Les besoins agricoles.....	iv
Annexe 2 : les paramètres qualité .....	v
1.1 Les paramètres organoleptiques .....	v
1.2 Paramètres physico-chimiques .....	v
1.2.1 Température .....	v
1.2.2 pH.....	v
1.2.3 Turbidité .....	vi
1.2.4 Conductivité ou résistivité électrique .....	vi
1.2.5 Titre alcalimétrique complet TAC .....	vii
1.2.6 Dureté (TH ou Titre Hydrotimétrique).....	vii
1.2.7 Les anions et les cations .....	vii
1.2.8 Les matières azotées .....	vii
1.2.9 Les éléments toxiques .....	vii
1.3 Les paramètres biologiques: la DBO et la DCO.....	vii
1.3.1 Demande biochimique en oxygène (DBO) .....	vii
1.3.2 Demande chimique en oxygène (DCO) .....	viii
1.4 Les paramètres bactériologiques .....	viii
Annexe 3 : Les analyses aux laboratoires .....	ix
1.1 Mesures instrumentales .....	ix
1.2 Mesures volumétriques.....	ix
1.2.1 TAC :.....	ix
1.2.2 Cl- :.....	ix
1.2.3 TH(Ca/Mg) : dureté totale.....	ix
1.2.4 TH Calcique .....	ix

1.2.5	Fe :.....	x
1.2.6	Matière Organique (M.O) .....	x
1.3	Mesures colorimétriques.....	x
1.3.1	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	x
1.3.2	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .....	xi
1.3.3	NO <sub>2</sub> .....	xi
1.3.4	NO <sub>3</sub> .....	xi
Annexe 4 : Etude des paramètres qualité .....		xii
Annexe 5 : normes qualité malgache (Décret 2003-941 sur la surveillance de la qualité de l'eau de consommation) .....		xvi
1.1	Paramètres organoleptiques .....	xvi
1.2	Paramètres physiques .....	xvi
1.3	Paramètres chimiques .....	xvi
1.4	Paramètres bactériologiques .....	xvii
Annexe 6 : Photos vontovorona .....		xviii
Annexe 7: Questionnaire (aux agriculteurs).....		xx
Annexe 8 : Questionnaire (responsable de traitement au niveau de la station Vontovorona). .....		xxi

## **Annexe 1 : les paramètres quantités**

### **1.1 Le bilan hydrologique**

Le bilan hydrologique est un tableau de comparaison des recettes en la ressource en eau avec les dépenses. On considérera dans les recettes les apports de la période considérée et les apports de la période précédente. Les apports de la période considérée sont les précipitations (pluies, neiges) et les précipitations occultes (condensation et rosée). Les apports par la précipitation sont apportés au lac par deux manières : le ruissèlement et l'interception. Les ressources provenant de la période précédentes sont les apports en eau qui ont été apportés par les infiltrations et les condensations durant les années qui ont précédé la période de l'étude. Ce sont surtout les eaux souterraines et les glaciers (dans le cas des zones de forte condensation). Ces dernières se calculent au niveau des bassins versants mais seront négligées car les ressources provenant des années précédentes seront remplacées par les ressources en eau accumulées par le bassin en fin de période.

Les dépenses en ressource en eau seront groupées sous la nomination de prélèvement. Le prélèvement se définit comme tout retrait de quantité d'eau du lac que ce soit d'origine naturelle ou anthropique. Les dépenses en ressources seront le prélèvement par la société JIRAMA, les prélèvements par les plantations agricoles et l'évaporation au niveau du lac.

### **1.2 Les apports**

#### **1.2.1 Le ruissèlement**

Le ruissèlement peut être défini par l'écoulement par gravité à la surface du sol, suivant la pente du terrain, vers le réseau hydrographique, des eaux météoriques qui ont échappé à l'infiltration, à l'évaporation et au stockage superficiel<sup>1</sup>. (REMENIERAS, 1960). Le ruissèlement dépend des caractéristiques physiques du bassin versant, des caractéristiques du sol au niveau de celle –ci, des recouvrements du sol et enfin, de l'importance des précipitations. Une courte pluie de faible intensité sur un terrain sec et très perméable donnera lieu à un ruissèlement de surface modeste ou nul. Tandis que, sur un terrain perméable (zones bâties, chaussées, pistes) ou saturé par de fortes averses ou des fontes, la même précipitation pourra fournir un débit de ruissèlement relativement important.

#### **1.2.2 L'interception**

L'eau de pluie est interceptée par des obstacles au cours du trajet vertical et horizontal de l'eau. Ce phénomène se nomme interception. Autrement dit, le lac intercepte une partie des pluies lors d'une période pluviale. (RATIARISON H. S., décembre 2012)

### **1.3 Les prélèvements**

#### **1.3.1 L'évaporation**

L'évaporation désignent l'ensemble des phénomènes qui transforment en vapeur par un processus physique, l'eau apportée par les précipitations et les renvoient à l'atmosphère

---

<sup>1</sup> Rétention d'une couche d'eau par les couches superficielles du sol

(REMENIERAS, 1960). L'évaporation au niveau d'une nappe d'eau est la transformation en vapeur et un échappement vers l'atmosphère d'une partie de l'eau dans cette nappe. L'évaporation est fonction du pouvoir évaporant de l'atmosphère qui est la température de l'air, de l'insolation, de la vitesse et de la turbulence du vent. Selon des résultats expérimentaux, la zone de la haute terre centrale présente en moyenne une évaporation de 2mm/j. (Chaperon, Danloux, & Ferry, 1993)

L'évaporation d'une nappe d'eau est d'autant plus faible en saison chaude et plus forts en saison froide que la nappe est plus étendue et plus profonde (théorie d'Inertie thermique).

### **1.3.2 Les besoins agricoles**

A chaque type de plante correspond une quantité d'eau nécessaire à leur survie et à leur développement. Cette demande varie également suivant l'état de développement de la plante. Les besoins en eau d'une plante sont en fonction de trois facteurs principaux : le climat, l'espèce végétale et le moment du cycle végétatif. Le dosage de l'eau dépend aussi de la qualité du sol.

## Annexe 2 : les paramètres qualité

### 1.1 Les paramètres organoleptiques

Il s'agit des paramètres appréciés par les sens. On peut citer : la couleur, l'odeur, le goût, etc. On ne considère que les paramètres organoleptiques ayant une quelconque incidence sur la santé. Les paramètres organoleptiques dépendent généralement des paramètres physico-chimiques de l'eau. Ce qui inclut une analyse de ces derniers pour des appréciations de ces paramètres.

Les propriétés organoleptiques de l'eau potable doit être les suivants

- Aucune odeur car une odeur est significative de décomposition et de produits chimiques
- Aucune saveur ou plus précisément, une saveur fade : la saveur de l'eau dépend du taux de minéralisation à laquelle elle se trouve et du taux d'éléments chimiques qui le composent. Si la quantité de chlorure est trop forte, l'eau sera saumâtre. Si la quantité de magnésium est trop forte, elle sera amère. Si l'eau est très chargée en fer, elle aura une saveur métallique. L'excès d'alumine donne à l'eau une saveur terreuse.
- Aucune couleur (incolore)

### 1.2 Paramètres physico-chimiques

#### 1.2.1 Température

Elle est une grandeur physique liée à la notion immédiate de chaud et froid. Elle se mesure au moyen d'un thermomètre. C'est un paramètre physique qui influence considérablement la multiplication microbienne ainsi que leur métabolisme. Selon la température optimale de développement, les microorganismes sont classés en trois catégories :

- Les germes mésophiles qui supportent une température moyenne comprise entre 20 et 40°C ;
- Les germes psychrophiles dont la température optimale de croissance est située entre 0 et 15°C ;
- Les germes thermophiles qui se multiplient préférentiellement entre 45 et 85°C.

#### 1.2.2 pH

Le pH mesure la basicité ou l'acidité d'une solution. Elle liée à la concentration des ions hydronium  $H_3O^+$  :  $pH = -\log (H_3O^+)$ . Une solution est acide quand le  $pH < 7$  et basique lorsque  $pH > 7$ . C'est un paramètre très important dans la qualité de l'eau.

Les micro-organismes se multiplient dans une gamme étendue de pH. Cependant chaque espèce à un pH optimum de croissance. Les bactéries se multiplient en milieu neutre ou légèrement alcalin ( $7 < pH < 7,5$ ). Pour survivre, ils doivent s'adapter aux modifications de pH de l'environnement. *Escherichia coli* par exemple se multiplie à partir de pH égal à 4,4 jusqu'à un pH égal à 8.

### 1.2.3 Turbidité

La turbidité traduit la présence de matières en suspension dans l'eau (matières organiques, matières minérales...). La valeur de la turbidité dépend de la forme, de la taille, de la composition et de la quantité des particules solides contenues dans l'eau. Toutefois, ce n'est pas une mesure directe (nombre, masse...) de ces particules mais une mesure globale de leur influence sur la lumière. L'American Public Health Association précise cette notion dans sa définition de la turbidité comme *"expression des propriétés optiques de l'eau qui font que la lumière est dispersée et absorbée au lieu d'être transmise en ligne droite à travers l'échantillon"*. La norme ISO 7027 définit la turbidité comme la *"réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matières non dissoutes"*

Les rayons lumineux au lieu de traverser en ligne droite l'eau vont subir une réfraction<sup>2</sup>, une absorption<sup>3</sup>, un rayonnement<sup>4</sup> ou une diffraction<sup>5</sup>

La turbidité s'exprime le plus souvent en NTU (Nephelometric Turbidity Units) ou FTU (Formazine Turbidity Units) et on classe :

- **NTU < 5** : Eau claire
- **5 < NTU < 30** : Eau légèrement trouble
- **NTU > 50** : Eau trouble
- **NTU** La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité

### 1.2.4 Conductivité ou résistivité électrique

La conductivité est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes de 1 cm<sup>2</sup> de surface et séparés de 1 cm. Ou plus précisément, la capacité de l'eau à transmettre le courant électrique. Elle se mesure avec le conductimètre et permet aussi d'estimer la minéralisation de l'eau et est proportionnelle à la minéralisation. Les résultats de mesure doivent donc être présents en termes de conductivité équivalente à 20 °C ou 25 °C

La conductivité est dépendante de divers facteurs tel que le pH de l'eau, la température de mesure ou encore le CO<sub>2</sub> de l'air qui est plus ou moins ionisé suivant le pH, il s'agit là de ce que l'on nomme la « conductivité intrinsèque ». La conductivité dépend aussi de la quantité d'ions initialement présents dans l'eau, par exemple les ions chlorures, sodium et ammonium. Leurs contributions à la conductivité est appelée « conductivité extrinsèque » et dépend de la concentration en ces ions, de leur mobilité et de leur valence. C'est cette dernière que l'on mesure car la température sera fixée.

---

<sup>2</sup> Réfraction :- lorsque la lumière change de milieu (eau/particule/eau), l'indice de réfraction du nouveau milieu impose un changement dans la direction de propagation de la lumière

<sup>3</sup> Absorption : - lorsqu'une lumière d'une longueur d'onde donnée traverse un échantillon d'eau, une partie de son énergie est absorbée par les molécules. La quantité de lumière absorbée est proportionnelle au chemin optique parcouru et au nombre de molécules absorbantes rencontrées ;

<sup>4</sup> Rayonnement : - lorsque les atomes constituant une particule sont suffisamment excités par le rayon incident, ils renvoient par rayonnement l'énergie qu'ils ont accumulée. La lumière est rayonnée dans l'ensemble des directions dans des longueurs d'onde caractéristiques de la particule ;

<sup>5</sup> Diffraction : - le passage du rayon incident à proximité d'un obstacle (ex. une particule) dévie le rayon selon un angle dépendant de la longueur d'onde et de la taille de l'obstacle. En particulier, la forme des particules affecte la diffraction de la lumière. Les particules sphériques tendent à plus diffracter dans l'axe du rayon incident.

### **1.2.5 Titre alcalimétrique complet TAC**

C'est l'alcalinité totale de l'eau c'est-à-dire sa concentration en cation équilibré par les anions faibles.

### **1.2.6 Dureté (TH ou Titre Hydrotimétrique)**

La dureté est la concentration totale en calcium et magnésium. En présence d'une eau dure le savon se mousse difficilement.

La TH calcique ou dureté calcique cela correspond à la teneur en sel de calcium contenu dans l'eau.

### **1.2.7 Les anions et les cations**

L'eau contient plusieurs ions dont leur dose a des impacts sur la qualité de l'eau. Voici la liste des principaux anions et cations rencontrés dans l'eau.

Les anions : carbonate, bicarbonate, chlorure, sulfate, nitrite, nitrate phosphate, fluorure

Les cations : calcium, magnésium, ammonium, sodium, potassium, ion ferreux, manganèse, aluminium

Certains de ces ions peuvent être révélateurs d'une contamination notamment l'ammonium ainsi que les chlorures sauf si leur présence à un taux relativement élevé est explicable. Un taux excessif de chlore est toxique pour les plantes.

### **1.2.8 Les matières azotées**

Les nitrates ( $\text{NH}_4$ ), ( $\text{NO}_3^-$ ) et les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ). La présence de nitrates dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais) et domestiques (excréta et lessive).

Les éléments azotés forment avec les phosphores un facteur de l'eutrophisation de l'eau.

### **1.2.9 Les éléments toxiques**

L'eau peut contenir des éléments toxiques, la recherche peut être systématique ; par exemple, une fois par semestre ou une fois par an. Elle portera dans ce cas un certain nombre d'éléments chimiques comme le plomb, l'arsenic, le chrome hexavalent, les cyanures, le sélénium, les phénols ainsi que les corps réputés indésirables comme le cuivre, le zinc et le manganèse.

Ces corps dits « toxiques » sont peu biodégradables. Ils empêchent la croissance et le développement de la faune, ainsi que la flore. Ils s'opposent à l'oxygénation naturelle de l'eau et empêchent les rayons lumineux de passer (Rodin, J, cordonner, tt Bournnaud H. 1984).

## **1.3 Les paramètres biologiques: la DBO et la DCO**

La DBO est directement liées à la teneur en matière organique biodégradable et la DCO à la teneur en matière organique totale biodégradable et non biodégradable. Il s'agit de mesurer le taux d'oxygène dans l'eau ou leur défaut. Ces paramètres définissent la pollution de l'eau.

### **1.3.1 Demande biochimique en oxygène (DBO)**

La DBO est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes aérobies de l'eau pour utiliser les substances qu'elle contient. Il s'agit, donc, d'une consommation ponctuelle par voie biologique. Les microorganismes aérobies exigent pour cela une quantité d'oxygène proportionnelle à la charge organique. Elle ne concerne que les matières organiques à l'exclusion des matières azotées.

### 1.3.2 Demande chimique en oxygène (DCO)

La demande chimique en oxygène (DCO) peut être définie comme la quantité d'oxygène cédée, par voie chimique, par un oxydant puissant pour oxyder les matières réductrices présentes dans une eau usée. Elle détermine la quantité globale d'oxygène nécessaire à la dégradation de la pollution.

L'oxygène dissous est un élément essentiel à la vie des organismes aquatiques.

## 1.4 Les paramètres bactériologiques

La majorité des microorganismes pathogènes (virus, bactéries ou protozoaires pouvant causer des maladies) susceptibles de se trouver dans l'eau proviennent de déjections humaines ou animales. La qualité microbiologique est évaluée lors des contrôles analytiques réglementaires, par la recherche de bactéries, principalement des germes témoins de contamination fécale. Les troubles causés par l'existence de ces germes sont principalement des troubles gastro-intestinaux, diarrhées, vomissements. L'objectif de l'analyse bactériologique d'une eau n'est pas d'effectuer un inventaire de toutes les espèces bactériennes présentes dans l'eau, mais de rechercher soit celles qui sont susceptibles d'être pathogènes, soit celles qui sont indicatrices de contamination fécale. Ce sont :

- *Les Coliformes totaux* : correspondent à des bacilles Gram négatif, non sporulé, oxydase négatif, aérobie et anaérobie facultatifs, capables de se multiplier en présence de sels biliaires et de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 48h à une température de 35- 37°C. Ils constituent un groupe hétérogène de bactéries d'origine fécale (dont les bactéries *E. coli*) et environnementale.
- *Les Escherichia Coli* : font partie du groupe des coliformes totaux. C'est une espèce très abondante dans la flore intestinale humaine et animale, et c'est aussi la seule qui soit strictement d'origine fécale. Les bactéries *E. coli* sont considérées comme le meilleur indicateur de contamination fécale. Leur présence dans l'eau signifie que cette dernière est contaminée par une pollution d'origine fécale et qu'elle peut donc contenir des microorganismes pathogènes.
- *Les Streptocoques fécaux ou Entérocoques* : ce sont des bactéries Gram positif, sphériques ou ovoïdes, formant des chainettes, non sporulées, catalase négative, possédant l'antigène D, cultivant en anaérobiose à 44°C, et à pH 9,6 et capables d'hydrolyser l'esculine en présence de bile. Ils se répartissent en deux genres : *Streptococcus* et *Enterococcus*.
- *Les Spores de bactéries des anaérobies Sulfite-réductrices* : ce sont des formes de résistance de microorganismes se développant en anaérobiose à 37°C ± 1 en 24h ou 48h en gélose viande foie et donnant des colonies typiques réduisant le sulfite de sodium. L'intérêt de la recherche de tels indicateurs réside dans la propriété qu'ils sporulent, ce qui les rend particulièrement résistants aux traitements de désinfection.

## **Annexe 3 : Les analyses aux laboratoires**

### **1.1 Mesures instrumentales**

Ces mesures sont effectuées à partir d'appareils de mesure. Il s'agira du turbidimètre pour la mesure de la turbidité, le pH-mètre pour la mesure du pH, le conductimètre pour la conductivité et le thermomètre pour la température. Une mesure sur de l'eau distillée est nécessaire pour réajuster l'appareil et vérifier sa précision. Cela est effectué après la mesure de chaque échantillon (si plusieurs échantillons sont à mesurer) et avant la mesure pour un seul échantillon. Cela permet également de rincer les électrodes.

Rappelons que la turbidité est en fonction des matières organiques et des matières colloïdales en suspension dans l'eau, elle constitue une indication sur l'intensité de trouble. La conductivité est la capacité de l'eau à transmettre les électrons. Si elle est supérieure à 3000, on parle d'eau dure donc qui a une forte concentration en Ca et en Mg. La conductivité est en étroite relation avec la couche de terre qui est en contact avec la ressource en eau. Le pH permet de déterminer l'acidité de l'eau.

### **1.2 Mesures volumétriques**

Les mesures volumétriques utilisent une solution titrant en plus de la solution à analyser et l'indicateur coloré.

#### **1.2.1 TAC :**

On utilise de l'Eliantine (2 gouttes) comme indicateur coloré, de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> comme solution titrant. Cette réaction n'utilise pas de solution tampon. On attend comme résultat une coloration jaune orangé et on mesure le volume d'acide (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) versé pour avoir la couleur. Le TAC exprime la proportion de minéralisation et il est proportionne au pH.

#### **1.2.2 Cl<sup>-</sup> :**

L'indicateur coloré est le Chromate de Potassium. On verse dans la solution à titrer 5 à 10 gouttes. La solution titrant est le Nitrate d'Argent.

#### **1.2.3 TH(Ca/Mg) : dureté totale**

L'indicateur coloré est le M.E.C (Mire Elio-Chrome.T). La solution tampon est basique et on ajoute 2 ml. La solution à titrer à une coloration violet au début et cela doit virer au Bleue lorsqu'on ajoute plus solution titrant. La solution titrant utilisée sera l'E.D.T.A N/50(Ethylène Di-Tetra Acytique).

Le TH est proportionnel au T.A.C. Les deux mesures doivent aboutir à des résultats similaires (volume versé).

#### **1.2.4 TH Calcique**

L'indicateur coloré est le réactif de Putton et Reeder et la solution tampon est de la Soude (3 fois normal). La solution titrant est l'E.D.T.A et on recherche une couleur bleue à partir de la coloration violette de la solution au départ de la réaction. La mesure se fait sur une 100 ml d'eau.

### 1.2.5 Fe :

On ajoute à la solution 3 réactifs : le Dichlorure de Sodium (1 pincée), le Diméthyl Glyoxyl (2 ml), l'ammoniaque (2 ml). Après l'ajout de ces trois réacteurs, la couleur de la solution doit varier de roue à une couleur rosée. On mesure cette couleur sur une plaque de couleur déjà pré- établies et on identifie la même couleur (qui correspond à une valeur). Une couleur fortement rosé indique une forte proportion en fer. La plaque est composé de deux récipients : à gauche doit être la solution à titrer et à droite de l'eau. Cette mesure permet de vérifier l'intensité surtout si la nuance rosée est peu notable.

### 1.2.6 Matière Organique (M.O)

Les matières organiques dans l'eau peuvent être d'origine animale ou végétale. Cette réaction part de la propriété de la matière organique à réagir avec le Permanganate. La détermination du taux de matière organique doit se faire en milieu basique à chaud. On doit suivre une réaction pendant 10 minutes, les proportions qui n'ont pas réagit à la fin de ce durée seront les excès. Ce seront ces excès qui seront mesurés.

Pour cela, on verse du Bicarbonate saturé (5 ml) dans l'eau à titrer. Cette solution est portée à ébullition. On ajoute du Permanganate de Potassium ( $KMnO_4$ ) à n/80 d'un volume de 10 ml. Ce réactif doit oxyder la matière organique se trouvant dans l'eau et les excès de matières organiques qui n'ont pas réagit vont être dosés par un réducteur. Pour le titrage, on ajoute à la solution un volume  $\frac{1}{2}$  L (moitié acide, et moitié eau distillée) et 10 ml de sel de Mohr. Pour dosé le taux de réducteur qu'on a utilisé, on reverse de la Permanganate de Potassium et on arrête quand la solution a une couleur rosée.

## 1.3 Mesures colorimétriques

Le mode opératoire reste, en général, le même que pour les mesures volumétriques. Mais, on n'utilise pas de solution titrant et la lecture du taux d'un élément dans l'eau se fait par le spectrogramme. La mesure par le spectrogramme se pose sur le principe d'absorption d'ondes lumineuses. Chaque longueur d'onde absorbée correspond à un élément (molécule) et la quantité d'ondes absorbées correspond à la quantité de l'élément présent dans la solution mesurée.

A chaque changement d'élément à mesurer, il faut remettre dans le spectrogramme de l'eau sans réactifs (Blanc échantillon). Cela permet à l'appareil de se référer pour les lectures avec réactifs. Avant toute lecture, il faut vérifier le spectrogramme en mettant à mesurer de l'eau distillée avec les réactifs de mesures.

Les réactifs suivant sont pour des échantillons de 25 ml d'eau.

### 1.3.1 $NH_4^+$

La solution tampon est constitué de Phénol alcoolique (1mL), de Nitro prusside (1mL) et 2,5 ml de solutions de mélange préparées préalablement. Cette dernière solution se compose de 20 ml de Trisodium citrate et de 5 ml d'Hypochlorite de sodium. Après le mélange, on laisse reposer la solution pendant une heure puis on effectue la lecture par le spectrogramme. Les valeurs données par le spectrogramme sont les valeurs réelles de la quantité d'ammonium présent dans la solution.

La solution a une tendance à donner une couleur bleue après l'ajout des réactifs s'il a une forte concentration en ammonium.

### 1.3.2 S<sub>04</sub><sup>2-</sup>

La solution tampon utilisée est de l'acide chloridrique. On ajoute à l'eau 5 ml de celle-ci. L'indicateur coloré utilisé sera du Chlorure de barium (2,5 ml). Il faut laisser reposer la solution au moins 20 minutes avant la lecture. Pour cette lecture, il n'est pas nécessaire de faire une lecture préalable avec de l'eau distillée car le réactif est incolore.

La présence de Sulfate dans l'eau sera mesurée par le spectrogramme à partir des caractéristiques du précipité blanc qui se formera dans la solution (eau + réactif). Les valeurs données par l'appareil correspondent directement à la concentration en sulfate de l'eau.

### 1.3.3 NO<sub>2</sub>

La solution tampon sera de l'acide phosphorique concentré (50 ml). Le réactif coloré sera le Chlorure d'Ammonium (1 ml).

La valeur lue sur l'appareil sera multiplié par 3,29 avant de correspondre à la concentration en nitrite de l'eau.

### 1.3.4 NO<sub>3</sub>

La solution tampon doit être basique concentré. On ajoute à l'eau 1,25 ml. Si le pH de l'eau est trop bas, il faut ajouter du NaOH avant toute réaction.

Avant la lecture, on réduit la nitrate présente dans l'eau par de la colonne à Candium. La vitesse de réduction au niveau de la colonne de Candium sera de 7 à 10 ml/minute.

Il est à remarquer que la concentration en nitrite (C) a été mesuré par la réaction précédente (§ NO<sub>2</sub>). La concentration en nitrite et en nitrate ( nitrite total) sera donnée par le spectrogramme étant donné qu'on a réduit le nitrate de l'eau. Donc, la concentration en nitrate de l'eau sera obtenue par la formule  $C(NO_3) = (C' - C) \times 4,43$ . C'étant la valeur donnée par le spectrogramme.

## Annexe 4 : Etude des paramètres qualité

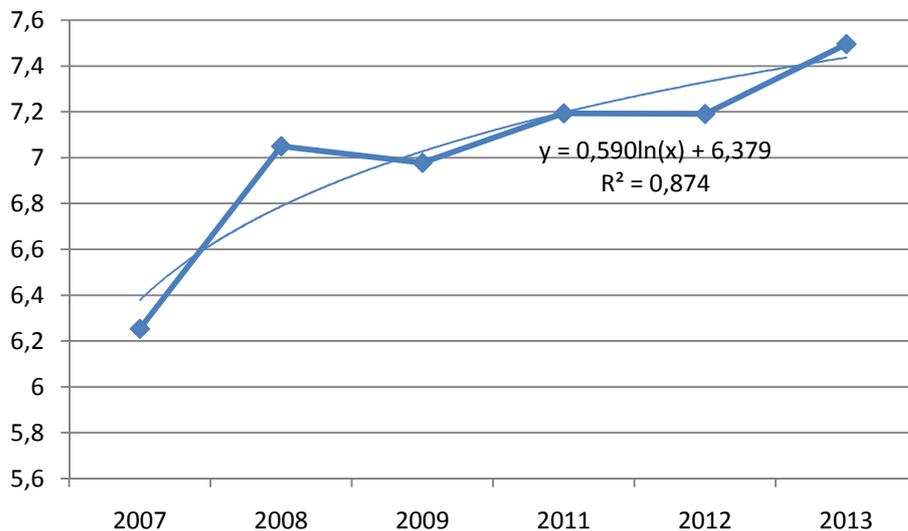
Certaines données sont nécessaires à WEAP 21 pour modéliser les paramètres qualité. Ils ne sont pas cependant pas encore étudiés au niveau de notre site d'étude. Pour cela, il a fallu tirer à partir de l'évolution temporelle des paramètres qualités.

Ces données concernent :

- Caractéristiques du paramètre
- Evolution du paramètre au niveau du milieu (évolution pendant une année [moyenne des années] et des années)
- Source de pollution au niveau du milieu
- Apports par le milieu (quantité)
- Date des apports
- Phénomènes de dégradation
- Taux de dégradation
- Contrainte (limites de taux acceptable selon la norme malgache)

### Le pH

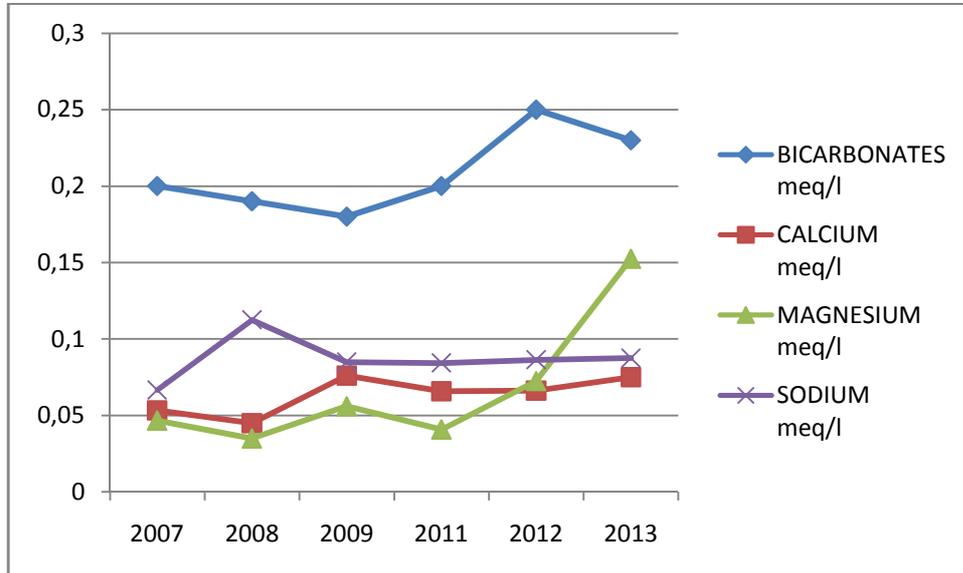
Le pH: le pH est un des paramètres les plus importants par rapport à la qualité de l'eau. Sa limite se trouve à une valeur de 9. Etudier le pH est important pour le traitement, le réseau de distribution et santé. Une certaine valeur de pH favorise la prolifération des microbes. (RODIER, LEGUBE, MERLET, & coll., 2009).



L'évolution du pH au niveau du lac Lohazozoro suit une fonction logarithmique qui tend à se stabiliser. Sans un impact par le milieu, la valeur du pH devrait être constante et dépendante du terrain par lequel l'eau passe. Alors que le pH est en progression et approche la valeur de 9, il est évident qu'il existe une pollution qui influence sur le pH.

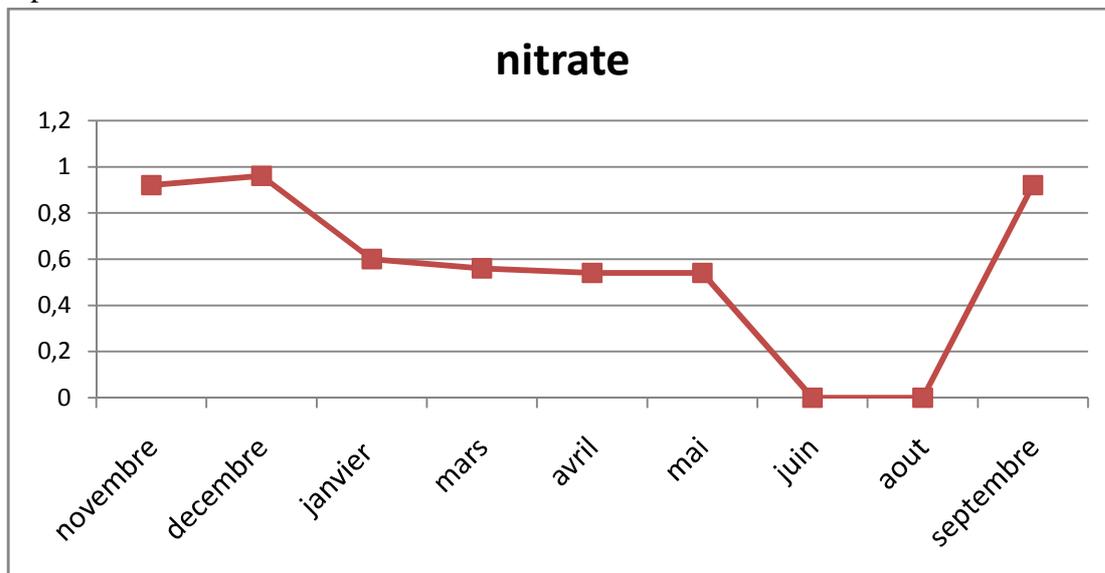
L'étude du pH est difficile du fait du nombre de facteurs qui cause sa variation. Donc, le choix de paramètres qui influence sur lui est nécessaire. Par théorie, le pH est en forte relation avec le titre alcalimétrique et le taux d'ion carbonate dans l'eau (RODIER, LEGUBE,

MERLET, & coll., 2009). De même, le taux de carbonate est en relation avec la concentration en cations de l'eau. Malgré que les courbes ne sont pas superposables, on peut en déduire l'impact de la concentration en magnésium sur la concentration en ion carbonate donc sur la valeur du pH. On se permettra alors d'étudier celle-ci et de tirer la conclusion sur le pH par correspondance de la concentration en Magnésium.



### Les matières azotées

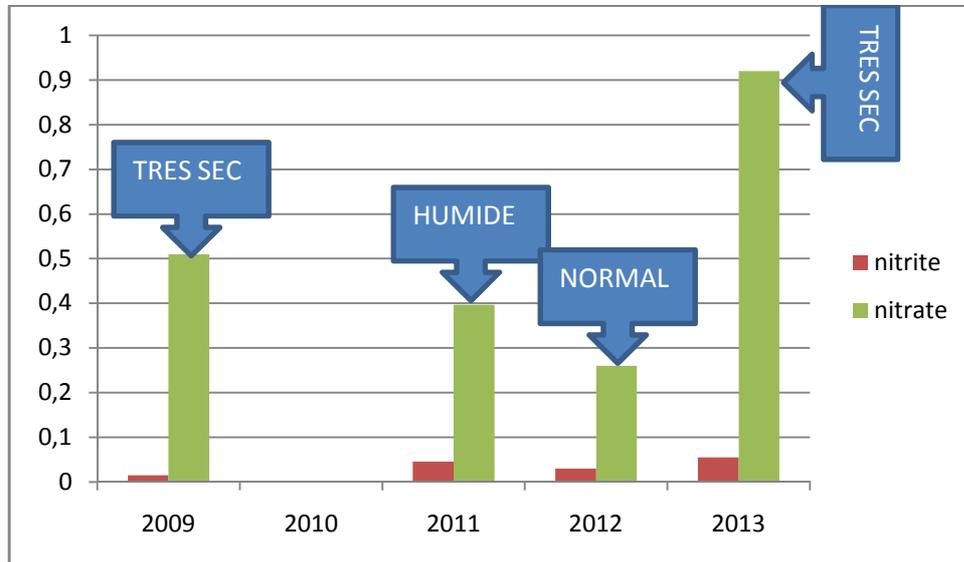
Les matières azotées sont fortement lessivable (très polluant). Comme le phosphore, l'azote cause la sur-fertilisation des eaux réceptrices, qui peuvent devenir toxiques pour les organismes aquatiques, favoriser une croissance excessive des végétaux, réduire la quantité d'oxygène disponible, nuire aux frayères, altérer l'habitat et entraîner le déclin de certaines espèces.



Son évolution montre un apport par les activités extérieures. Sa concentration est au pic pendant la période de semis des graines de riz et pendant la préparation des rizières. Les apports en engrais sont apportés en grande quantité par les eaux d'irrigation. Les grains d'engrais sont juste semés à la surface du sol, ce qui favorise leur lessivage. Le pic en septembre de la concentration en matière azotée correspondrait à des activités piscicoles. Ces

activités ne seront pas quantifiées car elles ont cessé depuis quelques temps et elles sont également aléatoires.

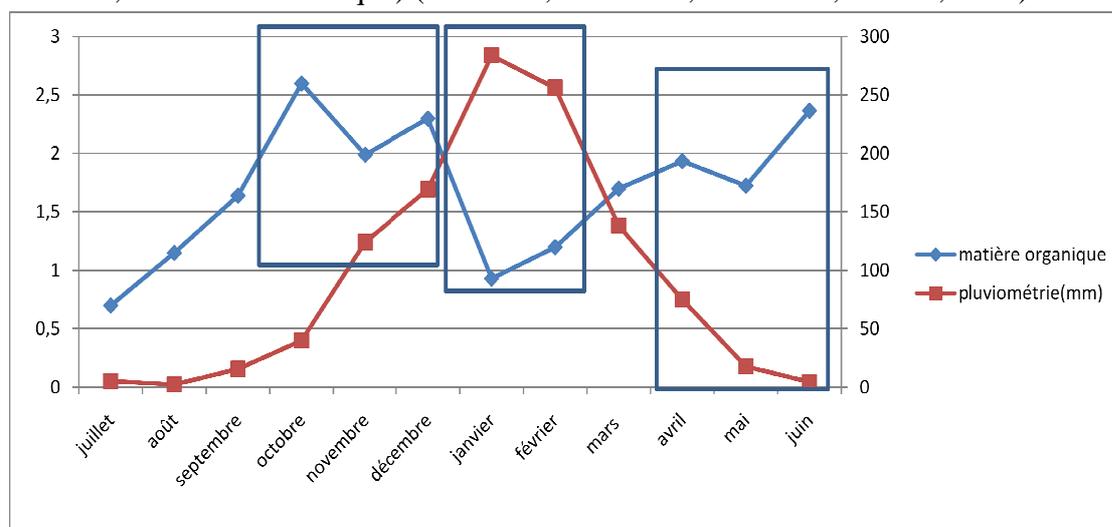
Une étude de la concentration en matière azotée au cours des années a montré que la concentration en nitrate augmente pendant les régimes secs et très secs et descend pendant les régimes normaux.



Malgré que l'évolution du nitrate ne soit pas forte inquiétant, l'étude du nitrate permet de déterminer les pollutions des activités humaines et leur impact sur la ressource en eau. Le nitrite n'est étudié séparément. Il est intégré dans l'étude du nitrate car il correspond à une phase intermédiaire de la transformation d'azote.

### Les matières organiques

L'évolution de la concentration en matière organique au niveau du lac est inquiétante. Elle croît et elle atteint déjà une valeur de 1,2mg/l en 2013 alors que la concentration maximale admise est de 2mg/l. De plus, les matières organiques nuisent à la qualité car elles réagissent avec les désinfectants (surtout le chlore) et donne des sous produits indésirables (Halo méthane, acide chloroacétique) (RODIER, LEGUBE, MERLET, & coll., 2009).



La courbe de la concentration de la matière organique avec la courbe de la pluviométrie montre une hausse de la concentration en matières organiques lors des fortes de la

précipitation. Il s'agit de la précipitation supérieure à 100 mm durant les mois d'Octobre à Novembre. La pluie apporte à ces moments là une très forte précipitation entraînant un apport important en terre et par conséquent en matière organique. Puis, à partir du mois de Décembre alors que la précipitation augmente, la concentration en matière organique diminue. La cause étant la quantité d'eau qui diminue sa concentration. Enfin, lorsque la quantité d'eau diminue la concentration augmente (mois de Mars à Juin). Cette courbe prouve deux phénomènes : la première étant un apport de matière organique par le milieu grâce à la pluviométrie, la seconde étant le non dégradation des matières organiques car la concentration dépend de la quantité en eau dans le lac.

## Annexe 5 : normes qualité malgache (Décret 2003-941 sur la surveillance de la qualité de l'eau de consommation)

### 1.1 Paramètres organoleptiques

L'eau doit être si possible :

- sans odeur,
- sans couleur,
- sans saveur désagréable

### 1.2 Paramètres physiques

La température recommandée est **25°** (une température supérieure provoque la prolifération des germes) ;

La turbidité ne doit pas dépasser, si possible, 5NTU ;

La conductivité: elle doit être mesurée dans le but de surveiller la pollution et doit être inférieure à 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à 20°C. La conductivité doit être mesurée deux fois par ans en milieu rural et 1 fois par trimestre en milieu urbain.

Le PH recommandé est compris entre 6,5 et **9** ;

### 1.3 Paramètres chimiques

Par rapport aux éléments chimiques normaux

	MINIMA	ADMISSIBLE MAXIMA
Ca		200 mg/l
Magnésium		50
Chlorure		250 mg/l
Sulfate		250 mg/l
O <sub>2</sub> dissous % de saturation	75%	
Dureté		300 mg/l exprimée en CaCO <sub>3</sub> <b>500</b>

Par rapport aux éléments chimiques anormaux

	MAXIMA (mg/ l)
Matières organiques	2 mg/L (milieu alcalin) <b>5 mg/L (milieu acide)</b>
Chlore libre	2 mg/L ( Cl <sub>2</sub> )
Ammonium	0,5 mg/L (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )
<b>Nitrite</b>	0,1 mg/L (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )
<b>Azote total</b>	2 mg/L (N)
Manganèse	0,05 mg/L (Mn <sup>2+</sup> )
Fer total	<b>0.5</b> mg/L (Fe )
Phosphore	5 mg/L (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Zinc	5 mg/L (Zn <sup>2+</sup> )

Argent	0,01 mg/L (Ag <sup>+</sup> )	
Cuivre	1 mg/L (Cu <sup>2+</sup> )	
Aluminium	0,2 mg/L (Al <sup>3+</sup> )	
<b>Nitrates</b>	50 mg/L (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	
Fluor	1,5 mg/L (F)	

#### Eléments toxiques

Arsenic	0,05 mg /l
Chrome <b>total</b>	<b>0,05</b>
Cyanure	<b>0,05</b>
Plomb	0,05 mg/l
Nickel	0,05 mg/l
PcB (polychloro-biphenyl)	0
Zinc	5 mg/l
Cadmium	<b>0,005 mg/l</b>
Mercure	<b>0,001</b>
Ba	1 mg/l

#### 1.4 Paramètres bactériologiques

- Coliformes totaux **0 /100 ml**
- Streptocoques fécaux **0 /100 ml**
- Coliformes thermo-tolérants (e. Coli) **0 /100ml**
- Clostridium sulfito-réducteur **< 2 /20ml**
- Spores anaérobies sulfito-réductrices

## Annexe 6 : Photos vontovorona



Figure 1: Micro-bassin de Mamohiadanana



Figure 2: Micro-bassin d'Andrefanambohimasina



Figure 3: Micro-bassin Andrefan'antaramana



Figure 4: *Ceratophyllum demersum* (Macrophyte)



Figure 5: cultures aux abords du lac



Figure 6: plantation rizicole dans le lac (riz\_5)

## **Annexe 7: Questionnaire (aux agriculteurs)**

- Quelles sont les cultures que vous pratiquez ?
  
- Quelles sont les périodes de cultures ?
  
- Possédez-vous une surface agricole au niveau du bassin versant ?
  
- L'eau que vous utiliser provient-elle de l'eau qui s'écoule au niveau du bassin versant ?
  
- Quel système d'évacuation d'eau utilisez-vous ?
  
- Avez –vous observé depuis quelques temps un changement de la pluviométrie ?
  
- Utilisez-vous de l'engrais ? Quel type ?
  
- En quelle quantité ?
  
- A quelle période de l'année ?

## **Annexe 8 : Questionnaire (responsable de traitement au niveau de la station Vontovorona)**

- A quelle date fut mise en place la station de traitement ?
  
- Quelles sont les traitements que vous effectuez ici ?
  
- Exploite-t-elle seulement les eaux du lac Lohazozoro ?
  
- Quels sont les principaux usagers de l'eau du lac ?
  
- Existe-t-il d'autres ressources en eau dans la région ?
  
- Avez-vous observé l'envasement du lac ?
  
- Que croyiez-vous être la cause de celle-ci ?
  
- Avez-vous observé des gaspillages au niveau de l'utilisation de l'eau ?
  
- Avez-vous observé un changement de la qualité de l'eau ?
  
- Des mesures des paramètres ont –elles été faites ?
  
- Que pensez-vous être les causes ?
  
- Est-ce que ces changements ont influencé le traitement de l'eau ?
  
- Que pensez-vous être les facteurs ?

- Avez-vous prévu des moyens de protection du lac ?