

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	i
SOMMAIRE.....	ii
LISTE DES TABLEAUX.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	iv
LISTE DES PHOTOS.....	v
GLOSSAIRE.....	vi
LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES.....	vii
LISTE DES UNITES.....	viii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	2
CHAPITRE II : MATERIELS ET METHODES.....	10
CHAPITRE III : RESULTATS, INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS.....	30
RECOMMANDATIONS.....	44
CONCLUSION.....	47
BIBLIOGRAPHIE.....	49
ANNEXE.....	I
TABLE DES MATIERES.....	VIII

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n° 1:Localisation des villages par coordonnées géographiques	11
Tableau n° 2:Qualité d'eau liée à la minéralisation	21
Tableau n° 3: Classification des eaux souterraines par rapport au chlorure	23
Tableau n° 4:Calcul des teneurs en hydroxyde, carbonate et bicarbonate en °f	24
Tableau n° 5:Classification des eaux souterraines par rapport à la dureté	25
Tableau n° 6:Résultats de l'analyse paramètres physiques	30
Tableau n° 7:Variation de la Température en fonction de profondeur et nature de l'aquifère	32
Tableau n° 8:Résultats des analyses chimiques	35
Tableau n° 9:Classification des eaux selon la dureté	38
Tableau n° 10:Classification selon les formules caractéristiques des eaux	39
Tableau n° 11:Extrait du tableau de performance du traitement concernant les produits chimiques issus d'activité agricoles:	45

LISTE DES FIGURES

Figure n° 1:Schéma montrant le cycle de l'eau	2
Figure n° 2:Présentation de l'aquifère	6
Figure n° 3:Système aquifères.....	7
Figure n° 4: Régions qui ont bénéficiés par le projet PAEAR à Madagascar.....	9
Figure n° 5:Carte hydrographique et localisation de la zone d'étude (Sarobaratra)	11
Figure n° 6:Variation des Températures mensuelles maximale et minimale mensuel entre 2010 à 2015	12
Figure n° 7:Variation de la précipitation mensuelle entre 2010 à 2015	13
Figure n° 8:Ré lief de la Commune Sarobaratra	14
Figure n° 9:Logos du logiciel Aquachem 2011.1	16
Figure n° 10: Diagramme de Piper avec faciès chimiques des eaux.....	17
Figure n° 11:Diagramme de Schöeller-Berkaloff	18
Figure n° 12:Variation du pH de l'échantillon.....	31
Figure n° 13:Variation de la température pour chaque échantillon d'eaux.....	33
Figure n° 14:Turbidités dans différentes points de forages d'eau.....	34
Figure n° 15:Représentation graphiques de minéralisations	37
Figure n° 16:Diagramme de Schoëller-Berkaloff des eaux souterraines Sarobaratra.....	40
Figure n° 17:Représentation des résultats d'analyse des échantillons selon Piper.....	41
Figure n° 18: Diagramme de Piper (Faciès bicarbonaté calcique)	42
Figure n° 19:Diagramme de Piper (faciès bicarbonaté calcique et magnésien).....	42

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: Comparateur HYDROCURE pH	28
Photo 2: Conductimètre de laboratoire à multiple fonction « Modèle LF 538WTW ».....	28
Photo 3: Turbidimètre	29
Photo 4 : pH-mètre	29
Photo 5 : Spectrophotomètre	29

GLOSSAIRE

Une Commune : Une Commune est une collectivité décentralisée de base, au même titre que la région. Elle est une collectivité locale de droit public dotée de la personnalité morale et de l'autonomie financière et administrative. Ses organes, le maire et les conseillers sont élus au suffrage universel direct et administrent librement la commune. (Loi n°94-007 du 26 avril 1995)

Forage : Un forage est l'action de creuser un trou (aussi appelé « Puits » dans le domaine de la prospection) dans la Terre. L'équipement du puits, tel les tubages, et de manière générale les moyens techniques permettant de creuser, varient en fonction de son dimensionnement et de ses objectifs. On fore pour prospecter et/ou exploiter le sous-sol.

Eau souterraine : Elles sont contenues dans les nappes phréatiques et aquifères souterrains. Le plus souvent sont stockées dans les pores des sédiments ou des roches. Les eaux souterraines proviennent de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Celles-ci s'insinuent par gravité dans les pores, les microfissures et les fissures des roches, humidifiant des couches de plus en plus profondes, jusqu'à rencontrer une couche imperméable. Là, elles s'accumulent, remplissant le moindre vide, saturant d'humidité le sous-sol, formant ainsi un réservoir d'eau souterraine appelé aquifère. La nappe chemine en sous-sol sur la couche imperméable, en suivant les pentes, parfois pendant des dizaines voire des centaines de kilomètres, avant de ressortir à l'air libre, alimentant une source ou un cours d'eau.

Aquachem : Un logiciel pour la chimie de l'eau souterraine unique en son genre. Ce logiciel contient une base des données physico-chimiques personnalisable à 100 %. Il a une palette exhaustive d'outils d'analyse, de calcul, de modélisation et de représentation graphique.

Eau de surface : C'est l'ensemble des eaux provenant de la pluie, neige mais également tous les eaux provenant de rivières, lacs, et océans.

Un aquifère : (acqua= eau ; fera= je porte) est une formation hydrogéologique perméable permettant l'écoulement significatif d'une nappe d'eau souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables, par des moyens économiques.

Echantillonnage : action qui consiste à prélever une partie considérée comme représentative d'un milieu en vue de l'examen de diverses caractéristiques définies.

LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES

AQUACHEM : AQUEous Analysis CHEMical

BAD : Banque Africaine de Développement

BBT : Bleu de bromothymol

BD: Base de Données 1/500 000^{ème}

EDTA : acide Ethylène Diamine Tetra-Acétique

CGC : China Géo- Engineering Corporation

CIEH :Comité Interafricain d'Etude Hydraulique

FTM : Foibe ny Taon-tsaritanin'i Madagasikara

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

MES : Matière en suspension

N.M: Norme Malagasy

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

pH : Potentiel Hydrogène

PAEAR : Programme d'Alimentation en Eau potable et Assainissement en milieu Rural

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SI : Système Internationale

TA : Titrage Alcalimétrique

TAC : Titrage Alcalimétrique Complet.

TDS : Total Dissolved Salts

TH : Titre hydrotimétrique

THCa : Titre hydrotimétrique Calcique

V.M.A: Valeur Maximale Admissible

LISTE DES UNITES

A : Ampère

°C : Degré Celsius

°f : Degré français

g/L : gramme par litre

km²: Kilomètre carré

km : Kilomètre

m : mètre

mg/L : milligramme par Litre

mm : Millimètre

méq/L : milliéquivalent par litre

m³/s : mètre cube par seconde

µS/cm : Micro-siemens par centimètre

V : Volt

INTRODUCTION

L'eau recouvre la majorité de la surface de la Terre mais elle est inégalement répartie dans le monde. Le volume d'eau présent sur notre planète est composé de 97.2% d'eau salée et 2.8% d'eau douce. Les 2.8% se répartissent ensuite entre les glaciers, les calottes polaires et, les eaux superficielles et souterraines qui sont indispensables. L'eau douce disponible ne représente que 1% du total de l'eau présente dans la planète [1]. L'accès en eau potable est un paramètre majeur pour un pays. En 2004, la statistique donne 14% d'accès à l'eau potable en milieu rural et 66% en milieu urbain [2].

La répartition en eau dans notre pays est aussi inégale. De plus, l'accès en eau potable s'avère primordial pour certaines régions, surtout dans les milieux ruraux. Ici à Madagascar, en 2006, seules 41 % de la population ont accès à l'eau potable dont 34% de la population en milieu urbain et 3% en milieu rural [3].

C'est ainsi que le projet Programme d'Alimentation en Eau potable et Assainissement en milieu Rural (PAEAR) pour des forages de puits a vu le jour en 2008 pour venir en aide à l'adduction d'eau potable. Ce projet concerne le forage de 1250 puits répartis dans certaines régions de Madagascar et ce sont les entreprises CGC et REVA forage qui exécutent le travail de forage.

La Commune Sarobaratra dans le District de Tsaratanana a bénéficié ce projet au cours de l'année 2010. Le contrôle de potabilité des eaux de puits utilisés pendant longtemps n'ont jamais été fait. C'est pour cela qu'il est nécessaire des études hydrochimiques des eaux de forages dans cette commune en vue d'un contrôle qualité.

Le but de cette étude est de classer les eaux de forage de la Commune Rurale Sarobaratra suivant leurs caractères physiques et chimiques. Il s'avère donc nécessaire de déterminer les faciès hydrochimiques, l'origine et mécanisme de présence des substances en Co-relation avec la qualité d'eau.

Les résultats d'analyse des eaux sont obtenus en collaboration avec la société JIRAMA et pour faciliter les classifications, des outils informatiques comme le logiciel « Aquachem 2011.1 » a été utilisé.

Pour mener à bien ce travail, notre mémoire se divise en trois chapitres :

Le premier chapitre concerne la synthèse bibliographique.

Les méthodes et matériels font l'objet du deuxième chapitre où nous explicitons les milieux environnants de site, ensuite les modes d'analyse physico-chimique. Les résultats, les interprétations et les discussions constituent le troisième chapitre de notre travail. Enfin, la conclusion sera précédée de quelques recommandations.

Chapitre I: Synthèse bibliographique

Suivant le plan que nous avons énoncé ultérieurement, ce premier chapitre sera donc d'une étude bibliographique. Ce chapitre est consacré sur les généralités de l'eau et ses environnements. La généralité de l'eau consiste à étudier les éléments caractéristiques c'est-à-dire parler de ce que l'on entend par eaux, et les éléments non-désirés qui peuvent y être présent qui sont reliés étroitement à l'hydrogéologie.

I.1 Généralités sur l'eau

L'eau pure est composé d'un atome d'oxygène et deux atomes d'hydrogènes, de formule chimique H_2O . Elle ne contient ni matière en suspension ou colloïde, ni des matières organiques dissoutes.

Le besoin en qualité d'eau dépend leur utilité, par exemple en industrie agro-alimentaire, pour la consommation, ou pour l'irrigation.

I.1.1 Cycle de l'eau

L'eau se trouve sur terre sous différentes formes : nuages, pluie, rivières et océans. Elle va passer de la mer à l'atmosphère, de l'atmosphère à la terre puis de la terre à la mer.

Le cycle de l'eau dépend infiniment à son environnement comme la pression, la température.

Tous les milieux aquatiques (lacs, rivières, mer, nappes souterraines...) sont interdépendants durant ce cycle que l'on présente dans figure n°1:

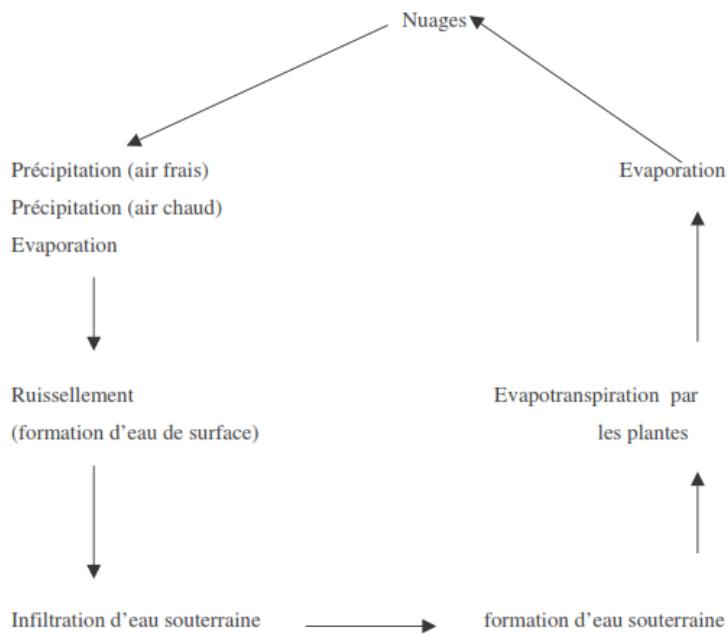


Figure n° 1:Schéma montrant le cycle de l'eau

Ce cycle nous a permis de classer les différentes origines naturelles de l'eau.

Le plus intéressant dans la partie de ce cycle concerne tous les phénomènes qui ont des relations avec de l'eau souterraine. Une fois que la pluie tombe on constate trois facteurs qui a effet directement sur l'eau souterraine :

- Humidification du sol et l'infiltration
- Ruissellement des surfaces (différentes érosion)
- Evaporation

L'infiltration est le phénomène de passage de l'eau de la surface du sol à l'intérieur de celui-ci.

L'infiltration revêt une grande importance car c'est elle qui contrôle plusieurs processus en hydrologie comme le ruissellement. Ainsi le ruissellement est une source de pollution, dans de nombreux bassins versants:

Ruisseaulement des sédiments, de nutriments, et de pesticides (Dérivé des pesticides) puis l'humidification des sols, et enfin le phénomène d'évaporation constatée après quelques heures de la précipitation. Mais le phénomène d'évaporation dépend de la nature du sol et température.

I.1.2 Différentes sources en eau

Les secteurs qui utilisent abondamment de l'eau sont tous les industries comme l'industrie de transformation, l'industrie du papier et du carton, la métallurgie. Et aussi l'industrie nucléaire qui utilise de grande quantité en eau dans le refroidissement.

L'eau est classée en trois sources suivant son origine : eaux souterraines, eaux de surfaces et eaux de mer et océans.

I.1.2.1 Eaux souterraines

Les eaux souterraines sont des eaux sous-sol, eaux de nappe, d'origine profonde. Sa composition chimique dépend de leur environnement naturel par exemple la structure géologique.

L'eau souterraine est plus minéralisée que l'eau de montagne car les eaux subissent différentes réactions dans le sol. En général, elles sont d'eau douces moins polluées et plus facile à traiter.

Les eaux souterraines ont une valeur de pH entre 5,5 et 8. [4]

I.1.2.2 Eaux de surfaces

En général, ce sont l'ensemble des eaux qui sont en contact direct avec l'atmosphère, de caractéristiques et potabilité différent à celle des eaux souterraines, ce sont les eaux de rivières, étangs, lacs, et eau de barrage qui est l'ensemble des masses d'eau courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées. Cette eau de surface est naturellement alimentée par les précipitations et naturellement perdue par l'évaporation et l'infiltration souterraine dans le sol. Bien qu'il existe d'autres sources en eaux de surfaces, tels que l'eau fossile et l'eau magmatique, mais les précipitations sont la première source pour les alimenter [5].

I.1.2.3 Eau de mer et océans

Les mers et les océans sont des énormes réservoirs d'eau, elles représentent près de 97,4% du volume d'eau existant actuellement sur notre planète.

L'eau de mer présente une grande concentration de sels dissous. Sa salinité varie à la surface du globe terrestre, en fonction de la latitude, de l'ouverture des mers vers les océans, de leurs dimensions, des apports terrestres, des courants. [6]

I.1.3 Propriétés de l'eau

I.1.3.1 Propriétés physique

Généralement, l'eau est incolore, inodore, sans saveur quand elle est pure. Du point de vue physique, en refroidissant, elle augmente de volume. L'eau prend aussi la place des solvants en générale pour la dissolution des matières comme les sels pour donner des solutions et repousse presque toutes les substances organiques (huile, pétrole,) pour former des émulsions.

I.1.3.2 Propriétés organoleptiques

Les propriétés organoleptiques de l'eau font référence à la sensation, bonne ou mauvaise, que le consommateur peut ressentir en le buvant ou en odorant. L'odeur et la saveur peuvent être déterminées à l'aide des organes sensoriels comme la langue et le nez tandis que la couleur à l'œil nu.

I.1.3.3 Propriétés microbiologique

L'eau, l'oxygène et les nutriments contribuent à créer des conditions favorables au développement des microbes. Il existe un cycle biologique, au cours duquel s'effectue une série d'échanges grâce à l'eau. Donc il est important de surveiller les paramètres bactériologiques pour assimiler la qualité d'eau car les maladies contagieuses causées par les virus et les parasites sont très souvent liées à la consommation d'eau.

I.1.3.4 Propriétés chimiques

Globalement la présence des éléments chimiques tels qu'il soit minérale ou organique joue un rôle très important sur le goût de l'eau et aussi à la prolifération des microbes pathogènes.

L'eau peut se combiner avec des plusieurs substances et donne des réactions chimiques comme par exemple la réaction d'hydratation indiquant le besoin en eau.

I.1.4 Critère sur la qualité d'eau

Pour la plupart de ces substances chimiques indésirables, le risque est surtout à long terme et les réglementations sont établies dans ce sens avec la notion de concentration maximale admissible à respecter de plus la prévention est efficace si les filières connaissent les concentrations pour que les traitements sont faciles.[7]

L'eau potable doit contenir, si possible, en quantité souhaitable des ions Cl^- , Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , NH_4^+ , NO_3^- . Ces ions proviennent des molécules NaCl , CaCl_2 , Na_2SO_4 , NH_4NO_3 etc... qui solubilisent et ionisent directement en contact avec l'eau.

Ces impuretés de l'eau proviennent des sels formés par l'action de CO_2 dissous, sur des matières calcaires ou magnésiens. Mais il ne faut pas oublier d'autres paramètres et composants comme les métaux lourds et les substances toxiques.

Ainsi que la qualité organoleptique (odeur, couleur, turbidité, saveur) dont le goût est un indicateur de la composition de l'eau, c'est l'aspect qualitatif.[8]

I.1.5 Norme de potabilité de l'OMS et législation de l'Etat Malagasy : [9]

Le domaine d'eau est un secteur plus vaste qui concerne une grande variété des métiers et fait intervenir des nombreux acteurs. Ces acteurs Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et l'Etat Malagasy ont émis des recommandations.

I.1.5.1 Recommandation de l'OMS

Les exigences fondamentales et essentielles destinées à garantir la sécurité sanitaire de l'eau de boisson constituent un « cadre », qui comprend des objectifs sanitaires établis par une autorité compétente dans le domaine de la santé, des systèmes adaptés et convenablement gérés (infrastructures appropriées, surveillance consciente, planification et gestion efficaces) ainsi qu'un système de surveillance indépendant. Les exigences à respecter diffèrent selon l'utilisation de l'eau.

En effet les normes requises pour une eau d'irrigation ne seront pas les mêmes que celles exigées pour une eau souterraine à consommer. C'est pourquoi l'OMS propose la norme de potabilité pour l'eau de consommation. (Annexe1).

I.1.5.2 Recommandation de l'Etat Malagasy

L'Etat Malagasy recommande que toute eau destinée à l'alimentation humaine ne doit jamais être susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment. Une eau potable est définie comme une eau destinée à la consommation humaine qui, par traitement ou naturellement, répond à des normes organoleptiques, physico-chimiques et bactériologiques fixées par décret n° 2004-635 du 15 juin 2004 (Annexe 2).

I.1.6 Forage d'eau

Dans le cas de Madagascar, plusieurs milieux ruraux n'ont pas des sources d'approvisionnement permanent de quantité et de qualité d'eau qui suivent les normes. Dans le cadre du projet des forages d'eau du PAEAR, la Région Betsiboka a bénéficié ces forages d'eau. Mais ces eaux potables nécessitent des analyses suivies des traitements pour mieux les utiliser.

Ce traitement de l'eau a vu le jour suite à la prolifération de l'épidémie de Choléra en mars 1999 d'où le premier cas fut rapporté à Mahajanga, un port de la côte Nord-Est.[10].

Les risques des maladies dues à l'insuffisance d'eau et la manque de surveillance de l'eau est la cause de ce projet. Le choix de l'emplacement des puits dépend du besoin de la population et l'hydrogéologie du terrain. [11]

I.2 Hydrogéologie générale

L'hydrogéologie est la science des eaux souterraines, comprise dans les sciences de la terre. Elle concerne la connaissance des conditions géologiques, hydrogéologiques et des lois physiques qui régissent l'origine, la présence, les mouvements et les propriétés des eaux souterraines aussi que les applications de ces connaissances aux actions humaines sur les eaux souterraines, notamment à leur prospection, à leur captage et à leur protection [12]. Pour mieux cerner le thème de ce mémoire, il existe plusieurs entités reliées à ce paragraphe à définir et à expliquer.

I.2.1 Aquifères

Un aquifère est un corps (couche, massif) des roches perméables comportant une zone saturée (ensemble du milieu solide et de l'eau contenue) suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantités d'eau appréciables. Un aquifère (Figure n°2) peut comporter une zone non saturée [12].

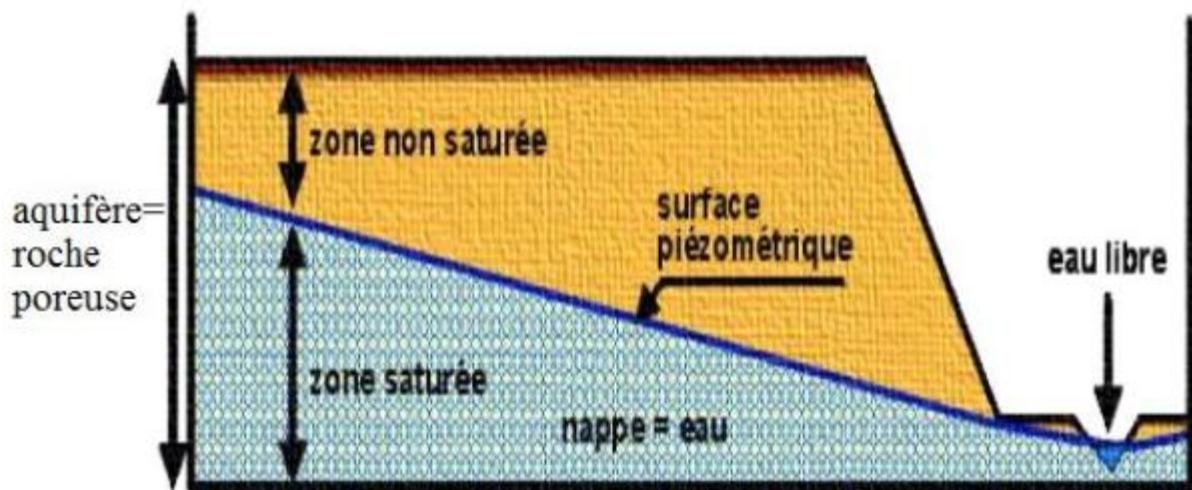


Figure n° 2:Présentation de l'aquifère

Source : Jackot R. 2012 [13]

On distingue trois types d'aquifères :

- les aquifères poreux où l'eau peut circuler librement dans les pores ouverts de la roche comme les grès, les sables et les graviers

- les aquifères fissurés où la perméabilité est de fissure. L'eau est contenue et circule dans les failles, fissures ou diaclases de la roche (basaltes, granites) ;
- les aquifères karstiques, qui sont des systèmes complexes particuliers associant une zone superficielle plus ou moins fissurée et instaurée servant de zone d'infiltration, et une zone inférieure fissurée, présentant également des conduites ou des grottes. Cette zone saturée se trouve en dessous d'un certain niveau où l'eau circule avec de grandes vitesses comparativement aux systèmes poreux.

I.2.2 Nappes

D'après le Dictionnaire Français de l'Hydrogéologie, une nappe est l'ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère, dont toutes les parties sont en liaison hydraulique [12].

Les types de nappes les plus souvent rencontrées dans l'étude hydrogéologique sont la nappe captive, nappe libre et la nappe sémi-captive. Elles sont classées selon les caractéristiques du substratum et du toit.

-Nappe libre, formée par le complexe couche hydrogéologique perméable-eau souterraine en dessous de la surface du sol et reposant sur le substratum imperméable. La surface piézométrique se confond avec la surface de la nappe et peut fluctuer librement. (Figure n°3a)

-Nappe captive, constituée par la complexe formation hydrogéologique perméable--eau souterraine reposant sur le substratum imperméable et sous un toit imperméable. La surface piézométrique est supérieure à ce toit. (Figure n°3b)

-Nappe semi-captive, aquifère reposant sur un substratum imperméable et sous un toit semi-perméable. Le toit permet l'intercommunication avec la nappe sus-jacente. La surface piézométrique fluctue en fonction de la recharge et de vidange. [3]

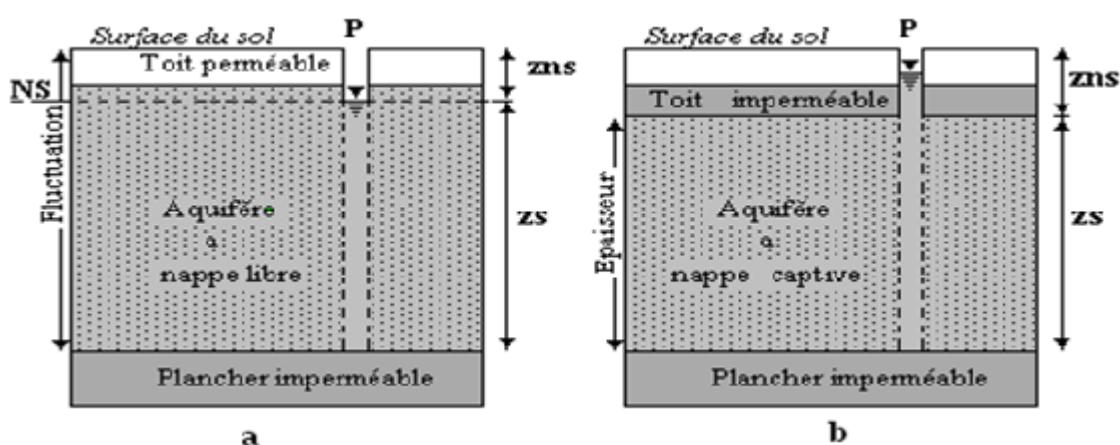


Figure n° 3:Système aquifères

a. Aquifère à nappe libre. NS : Niveau statique ; P. Puits ou forage ; zns : zone non saturée

zs : zone saturée b. Aquifère à nappe captive NS : Niveau statique P : Puits ou forage zs : zone saturée

Comme l'eau est le moteur de la vie sur terre pas seulement pour l'activité humaine mais pour toutes domaines alors maintenant nous allons voir les zones concernés par ce forage.

I.3 Présentation du projet

Le projet PAEAR a débuté en 2008. Le financement de ce projet est assuré par la Banque Africaine de Développement (BAD) et le Gouvernement malagasy. Le programme a été lancé afin de contribuer à la réduction de la pauvreté par l'amélioration des conditions de vie de la population à travers la fourniture de services durables d'eau potable et d'assainissement en milieu rural dans la zone d'intervention du projet pour atteindre les objectifs du Millénaire pour le Développement « Réduire de moitié, d'ici 2015, le pourcentage de la population qui n'a pas d'accès à un approvisionnement en eau potable ni à des services d'assainissement de base ».

Autrefois, le PAEAR était sous la tutelle du Ministère de l'Energie et des Mines mais actuellement, il est sous la tutelle du Ministère de l'Eau.

Dans le cadre d'un projet PAEAR qui concerne à la réalisation des forages dans les huit Régions (DIANA, MELAKY, ATSIMO ANDREFANA, SAVA, SOFIA, BETSIBOKA, ANDROY, ANOSY) dont la première cible est la population en prenant des avantages que l'on va citer :

- **Alimentation en eau potable :** Elle est une composante nécessaire pour une vie décente. Pour notre étude, il s'agit de la réalisation de seize forages équipés de pompes à motricité humaine dans la commune de Sarobaratra, pouvant desservir environ 6000 habitants.[14]
- **L'appui à la santé communautaire :** L'objectif de ce projet étant de réduire les maladies liées à l'insalubrité et au manque d'hygiène.
- **Progrès dans un lieu et naissance des travaux :** Etant donné l'importance de la mobilisation et la participation des villageois pour la réussite du projet.

La description du site de projet (PAEAR) effectué par les entreprises CGC et REVA forage est montrée sur la figure n°4.

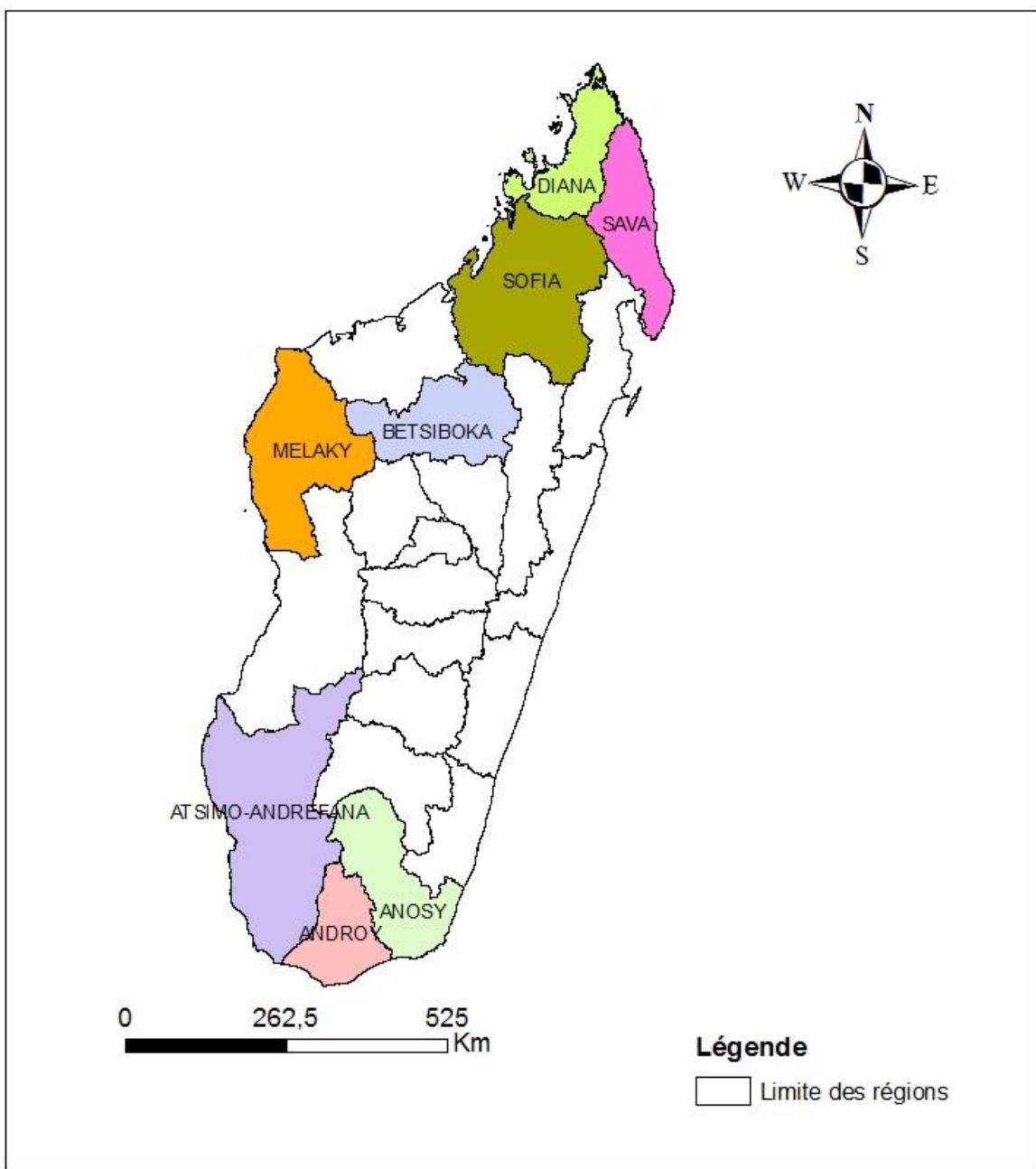


Figure n° 4: Régions qui ont été bénéficiés par le projet PAEAR à Madagascar

Source : BD500 FTM

En un seul mot, le principal objectif de cette étude est de donner un aperçu sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines du Commune Sarobarata.

Le paragraphe précédent a montré les études bibliographiques effectuées pour ce travail de recherche. Pour compléter les travaux nous allons voir plus de détail sur les matériels et méthodes pour analyser puis valider la qualité d'eau dans cette Commune.

Chapitre II. MATERIELS ET METHODES

Naturellement, l'eau est issue d'une source, ses qualités dépendent infiniment des différents paramètres comme par exemple couches géologiques. L'estimation des qualités physico-chimiques d'une eau ne peut s'effectuer que par la mesure d'un ensemble de paramètres divers. Ensuite, nous avons utilisé le logiciel « Aquachem2011.1 » pour compléter ces analyses. Mais avant de présenter la méthodologie utilisée, nous allons procéder d'abord à la localisation de la zone d'étude.

II.1 Présentation de la zone d'étude

II.1.1 Situation géographiques et Administrative

Tsaratanana est une commune urbaine malgache, chef-lieu du district de Tsaratanana, située dans la partie Nord-Est de la région de Betsiboka. Tsaratanana est composé des 12 communes comme Ambakireny, Ampandrana, Andriamena, Bekapaika, Betrandraka, Brieville, Keliloha Manakana, Sakoamadinika, Sarobaratra, Tsararova, Tsaratanana. (Figure n°5)

La Commune Sarobaratra appartient à la zone des Hauts Plateaux située à 200km à vol d'oiseau au Nord d'Antananarivo. Elle s'étend sur 30 Km du Nord au Sud, entre les parallèles 16 ° 20'S et 16° 38'S et sur 55 Km d'Est en Ouest, entre les méridiens 47° 00'E et 48° 00'E dont la superficie de 967km². Du point de vue administratif, la Commune rurale de Sarobaratra fait partie du District de Tsaratanana, Province autonome de Mahajanga et Région de Betsiboka.

La Commune est délimitée :

- Au Sud-Est par la Commune Rurale Tsararova
- Au Nord par la Commune Malakialina (Boeny) et Manerinerina (Melaky)
- À l'Est par la Commune Mampikony II (Boeny)
- Au Sud par la Commune de Bekapaika
- À l'Ouest par la Commune Ambondromamy et Andranomamy (Melaky)

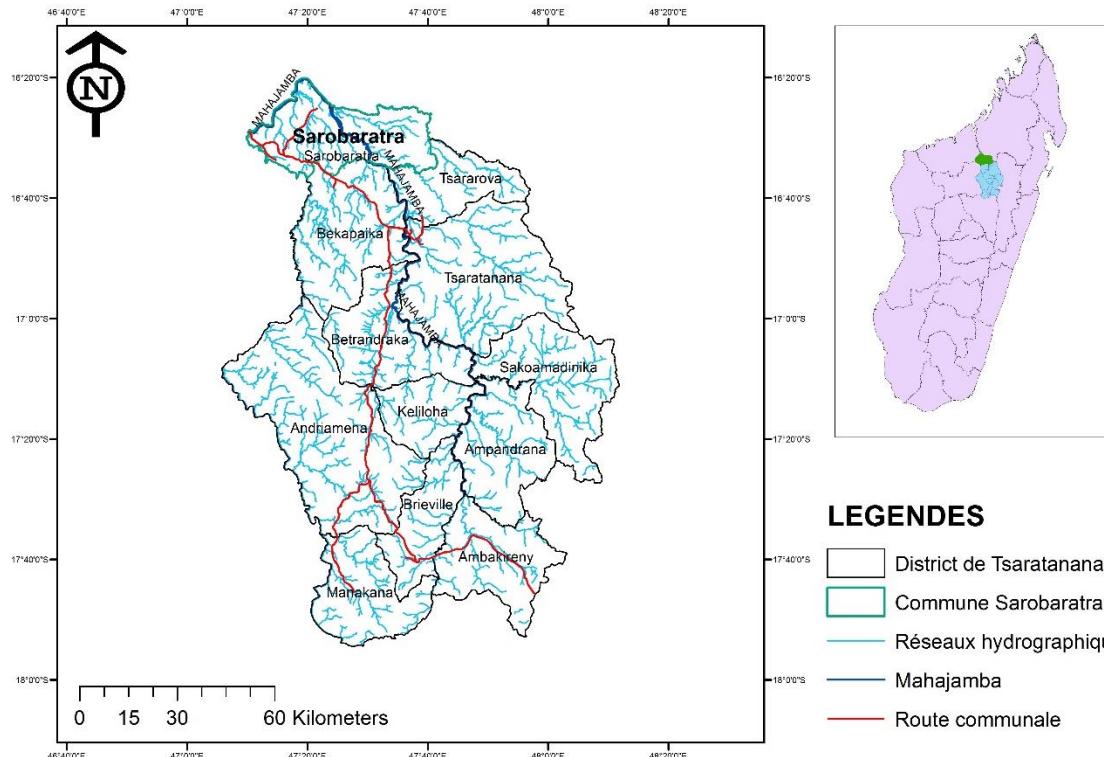


Figure n° 5:Carte hydrographique et localisation de la zone d'étude (Sarobaratra)

Source : BD 500 FTM

Pour notre étude, nous avons considéré les forages des puits dans seize villages de la Commune Rurale Sarobaratra. La localisation de ces villages par coordonnées géographiques est présentée dans le tableau n°1 :

Tableau n° 1:Localisation des villages par coordonnées géographiques

Code FORAGE	FOKONTANY	VILLAGES	LATITUDE	LONGITUDE
TSR002	AMBOHIMIARINA	AMBOHIMIARINA SUD	16°25'14"S	047°19'59.5"E
TSR003	AMBOHIMIARINA	AMBOHIMIARINA NORD	16°25'06.5"S	047°19' 57.2"E
TSR004	SAROBARATRA	AMPASIMAZAVA	16°27'14.4"S	47°19'21.4"E
TSR005	SAROBARATRA	SAROBATRA BAS	16°27'49.3"S	047°19' 45"E
TSR006	SAROBARATRA	SAROBARATRA HAUT	16°27'44.4"S	047°19'40.1"E
TSR007	SAROBARATRA	MORAFENO 1	16°27'46.1"S	047°19'32.5"E
TSR008	SAROBARATRA	AMBALATEVANA	16°27'57.0"S	047°19'08"E
TSR010	MORARANO	MORARANO 1	16°31' 19.8"S	047°12' 31.1"E
TSR011	MASOKOMENA	MASOKOMENA 1	16°33' 31.8"S	047°14'40.9"E
TSR012	MASOKOMENA	MASOKOMENA 2	16°33'10.3"S	047°14'14.8"E
TSR013	MANONGA	MANONGA SUD	16°32'08.8"S	047°11'37.6"E
TSR014	MORARANO	BEKABIJA	16°31'37.7"S	47°15'46.8"E
TSR015	MORARANO	MORARANO 2	16°31'05.5"S	047°12'36.3"E
TSR017	MANONGA	MANONGA NORD	16°30'55.4"S	047°11'39.2"E
TSR018	MANONGA	ANTANANDAVA	16°30'25.8"S	047°11'00.5"E
TSR019	MANONGA	MORAFENO 2	16°36'25.8"S	047°10'34.3"E

II.1.2 Population et Situation démographiques

De la part sa situation géographique, tous les groupes socio-ethniques de l'île sont presque représentés dans cette commune mais l'ethnie majeur est celle des Tsimihety. Madagascar est ainsi l'un des pays présentant un taux d'accroissement modéré par rapport à d'autres pays africains. En fait, l'île est caractérisée par une fécondité encore élevée mais stationnaire et une mortalité en légère baisse. Cette croissance a été constatée dans le District Tsaratanana où, d'après le recensement général de la population RGPH-1975 le nombre totale de la population est principalement de 42.550 habitants mais en 1993 le nombre a augmenté de 76.889 habitants [15]. Le niveau d'instruction de la population est particulièrement bas. Plus du tiers des chefs de ménage n'ont jamais fréquenté l'école.[16]

II.1.3 Climat de la zone d'étude

Le climat, c'est l'ensemble des phénomènes météorologiques observés dans le passé et qu'on s'attend d'observer encore sur une longue période. On peut le définir aussi comme « *la probabilité d'occurrence de divers états de l'atmosphère dans un lieu ou une région, au cours d'une certaine période donnée* » (Gibbs, 1987) [17].

Les conditions climatiques jouent un rôle important dans les comportements hydrologiques des cours d'eau et des conditions de recharge des aquifères.

II.1.3.1 Température

La température est un facteur important qui conditionne la climatologie d'une région.

Pour notre étude nous avons pu disposer des données mensuelles de la Commune Sarobaratra qui sont représentées sur la figure n°6

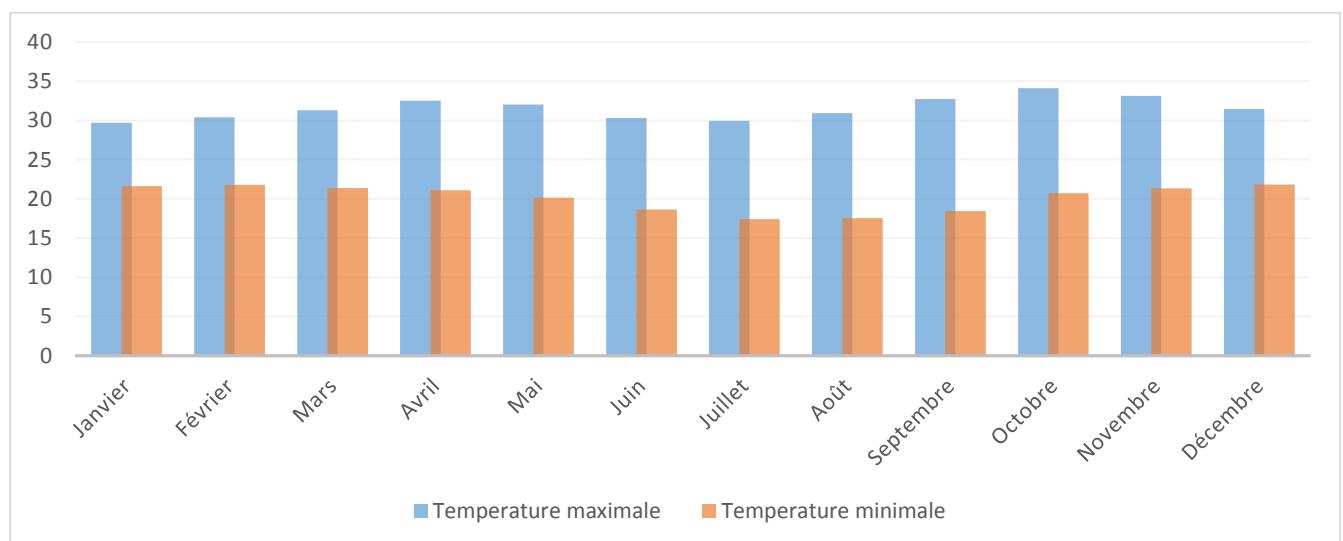


Figure n° 6:Variation des Températures mensuelles maximale et minimale mensuel entre 2010 à 2015

Source : Station météorologique d'Ampandrianomby (Madagascar)

La saison très chaude dure environ 4 mois, du mois d'Octobre au Décembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 32 °C. La saison fraîche dure 3 mois, du mois Juin à l'Août, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 29 °C.

II.1.3.2 Pluviomètre

Cette zone appartient au type de climat tropical chaud dont les précipitations annuelles varient entre 0,8 mm exclus et 520mm inclus. La saison de pluie est concentrée sur environ 5 mois de Novembre à Mars dans les meilleures conditions. La saison sèche est la plus longue qui dure 7 mois, du mois d'Avril au mois d'Octobre. La pluviométrie est un facteur déterminant du rendement agricole qui est relié directement à des reliefs. Le régime pluviométrique dans la Commune Sarobaratra (figure n°7) est très aléatoire et mal répartie durant l'année :

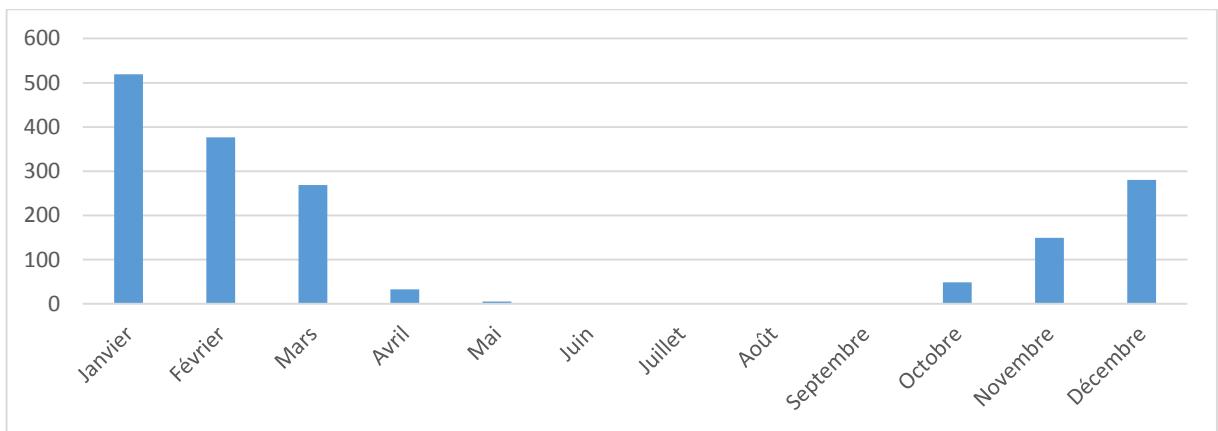


Figure n° 7:Variation de la précipitation mensuelle entre 2010 à 2015

Source : Station météorologique d'Ampandrianomby (Madagascar)

II.1.3.3 Cyclones

En générale, les cyclones tropicaux constituent une menace constante à la sécurité, mais surtout à la pollution d'eau et au bien-être de la population car ils créent de nombreux dégâts tant en termes de vies humaines qu'en matière d'économie et santé.

En tous cas, la région n'est pas classée comme zone cyclonique grave. Les cyclones, qui viennent de l'Océan Indien, arrivent sur cette zone déjà affaiblie, apportant de fortes précipitations, mais ne sont plus violents ni dévastateurs, exception faite de Gafilo en 2004, qui même si s'étant formé dans l'Océan Indien, n'a pas perdu sa force lorsqu'il est passé par la partie Ouest de l'Ile. Cependant, les cyclones provenant du Canal de Mozambique sont fortement à craindre puisqu'ils peuvent occasionner des destructions considérables, tel est le cas de Kamisy en 1984 et Cynthia en 1991. [18]

II.1.3.4 Vent

Dans cette Commune la période la plus venteuse de l'année dure 5 mois, du 29 Mai au 30 Octobre, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 15,5 kilomètres par heure.

La période la plus calme de l'année dure 7 mois, du 30 Octobre au 29 Mai.

Les vents jouent un rôle important dans le cycle hydrologique (transporteurs des vapeurs d'eaux). Connaissance de leur direction est indispensable pour justifier la présence des aérosols ou embruns marins dans le continent.

II.1.4 Relief

La zone d'étude se présente comme des massifs et l'altitude moyenne de la région est 199m, les massifs ont une valeur d'altitude maximale 907m et d'altitude minimale de 44m. Dans la région les altitudes élevées se situent l'Est tandis que la partie l'Ouest est de faible altitude (figure n°8)

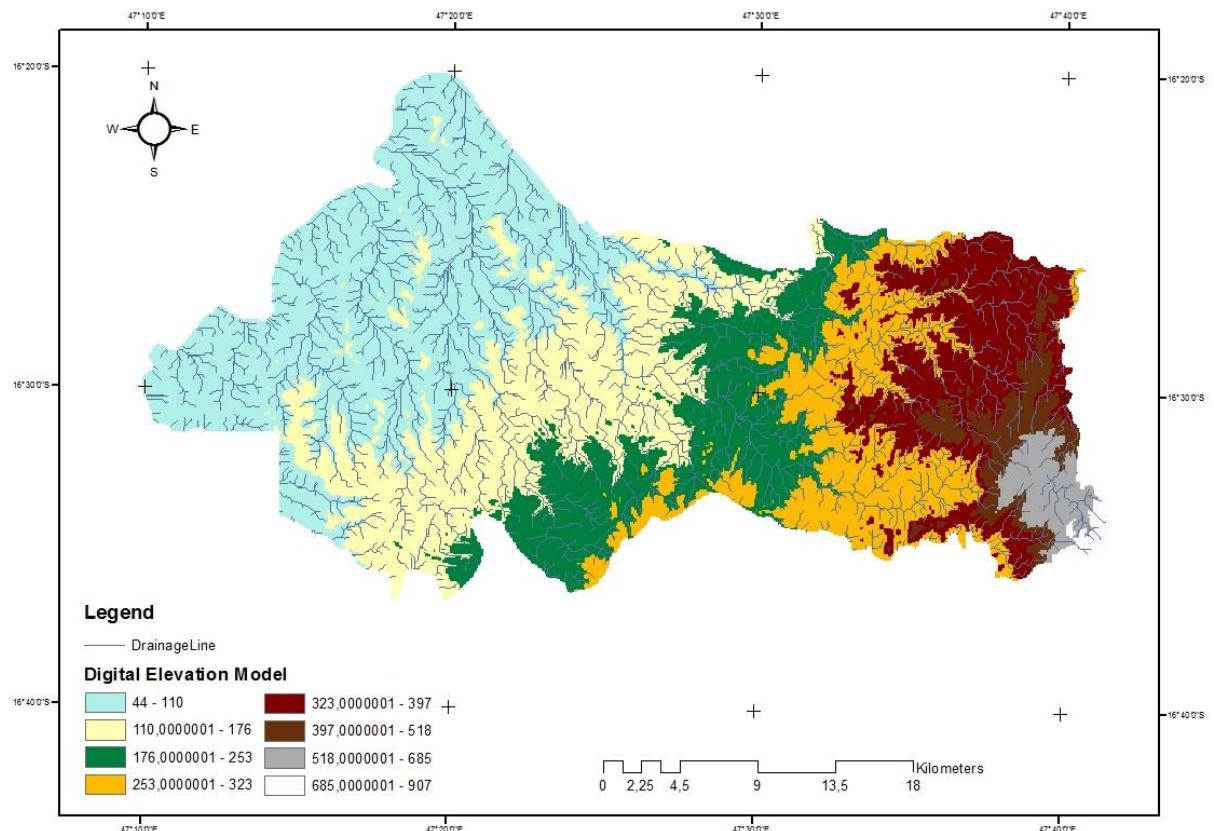


Figure n° 8:Rélef de la Commune Sarobaratra

Source : BD 500 FTM

II.1.5 Hydrologie

On a deux principaux fleuves dans cette commune d'où le fleuve de Kamoro et celle de Mahajamba. La fleuve Mahajamba se jette dans la partie au Nord de la commune et traverse le centre en se dirigeant vers Majunga. Il y a encore des cours d'eau comme Ankarongana, Androtra, Bekabija, Andilanilemena et Antsohihin'Ivilambava.

II.1.6 Contexte Géologiques

La géologie est une science qui traite l'origine de la Terre, son histoire, sa forme, les matériaux qui la composent et les processus qui influent ou qui ont influé sur elle.

La Commune Sarobaratra étudiée est composée des Grès continentaux et argilite et roches sableuses. Les formations sédimentaires sont transgressives sur le socle cristallin le long d'une ligne Mampikony-basse Mahajamba. Elles forment une série incomplète de l'Isalo au crétacé moyen. L'Isalo débute assez généralement au contact des terrains cristallins par des grès grossiers à galets roulet qui sont souvent mal cimentés, tendre, facilement érodés. A ce faciès grossier succède un niveau épais d'élément plus fine et mieux trié, formant des grès tendres à stratifications entrecroisées contenant des lentilles étendues d'argilites multicolore. Ces argilites prennent un grand développement au Nord-Ouest de la Mampikony dans la région d'Andoloabo provoquant une zone d'étangs et de marécages.[19]

II.1.7 Importance de l'eau potable dans cette région

En milieu rural, l'appauvrissement en eau potable est aussi noté malgré l'importance des ressources en eau naturelles. La région d'études dispose d'une ressource humaine non négligeable pour promouvoir l'économie rurale qui est basée essentiellement sur l'agriculture et l'élevage. Le climat présent dans cette commune a une relation étroite avec l'eau car l'eau joue un rôle pour la régulation du climat. Après avoir eu tous ces informations, on va passer à la présentation du logiciel utilisé.

II.2 Présentation du logiciel de traitement des données

II.2.1 Information générale sur le logiciel utilisé

Le logiciel AquaChem 2011.1 (figure n°9) est plus complet pour l'étude hydrochimique a été donc choisi. Ce sous chapitre consiste à la description de ce logiciel et son application sur l'étude de la qualité des différentes types d'eaux. Diverses possibilités de représentations graphiques peuvent être réalisées avec AquaChem pour nous aider à interpréter les informations et résultats des mesures sur terrain et des analyses au laboratoire. AquaChem possède treize (13) outils de représentations graphiques dont les principaux sont les diagrammes de Piper et de Schoëller- Berkaloff.

Cette partie consiste à faire la description de ce logiciel et son application sur la chimie de l'eau dans la commune Sarobaratra.

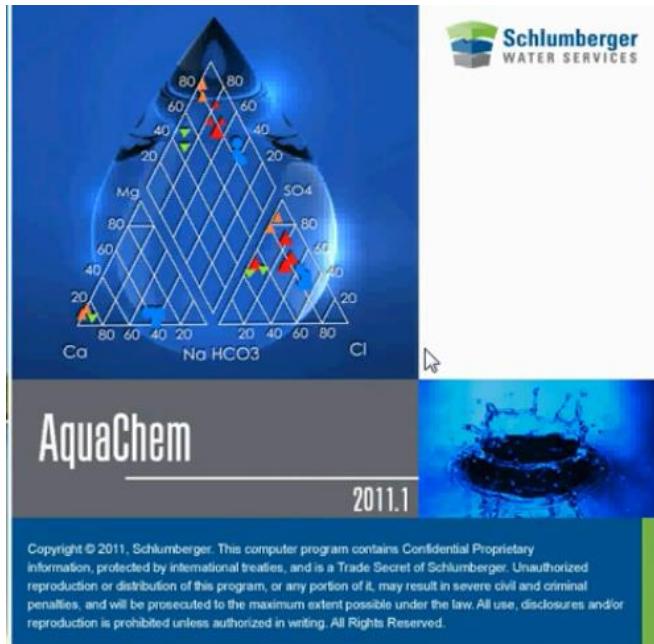


Figure n° 9:Logos du logiciel Aquachem 2011.1

Source : Aquachem

II.2.2 Propriété du logiciel

Ce logiciel Aquachem est plus connu surtout dans le domaine d'hydrochimie pour une analyse complète. Dans ce logiciel, ce qui nous a intéressés c'est la représentation des différents diagrammes d'analyse. En effet, les diagrammes de Piper et Schöeller-Berkaloff consistent à déterminer les différents faciès chimiques des eaux analysées.

Il s'agit d'une approche descriptive et comparée qui permet de représenter sur un même graphique un grand nombre des stations de suivi autorisant des regroupements par famille présentant des faciès similaires. L'interprétation des analyses hydrochimiques a pour but d'établir la genèse et l'origine des éléments chimiques et d'identifier d'éventuels problèmes de salinité. (Ca^{2+} , Na^+ + K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^-).

Le diagramme de Piper (figure n°10) comporte :

- à gauche, le triangle des cations avec les trois pôles Mg^{++} , Ca^{++} et Na^++K^+
- à droite, le triangle des anions avec les trois pôles SO_4^{2-} , HCO_3^- et $\text{Cl}^-+\text{NO}_3^-$
- en haut, un losange de projection avec les quatre pôles $\text{Ca}^{2+}+\text{Mg}^{2+}$, Na^++K^+ , $\text{HCO}_3^-+\text{CO}_3^{2-}$ et $\text{NO}_3^-+\text{SO}_4^{2-}+\text{Cl}^-$. Les points obtenus sont projetés dans le losange. L'emplacement des points sur ce dernier révèle la classe d'appartenance de l'eau de chaque échantillon. L'analyse chimique de l'eau met en jeu les ions majeurs suivants : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} et Cl^- .

Répartition synthétique des ions majeurs

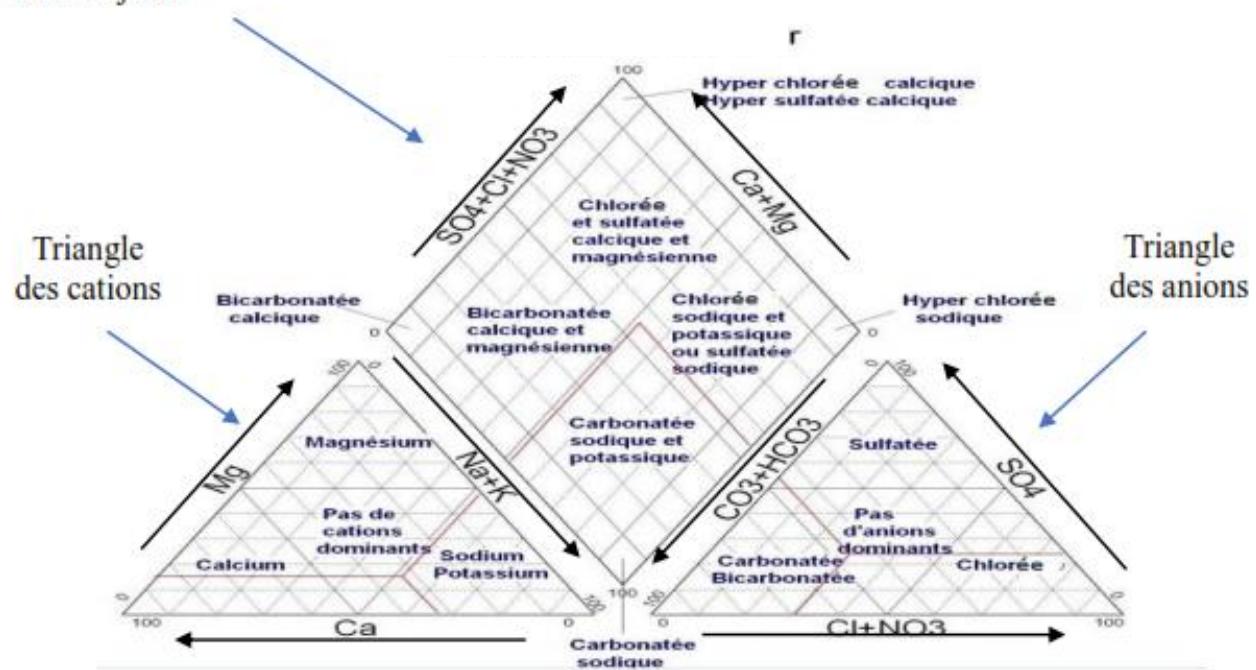


Figure n° 10: Diagramme de Piper avec faciès chimiques des eaux

Source : Aquachem

Le diagramme de Schöeller-Berkaloff (Figure n°11) est un diagramme semi-logarithmique pour représenter les ions majeurs en méq/L et qui permet la comparaison des échantillons dans le but de démontrer l'existence des diverses types faciès ou classes chimiques des eaux et la détermination de la minéralisation des eaux suivant l'allure des courbes. Les concentrations sont portées automatiquement en ordonnée semi-logarithmique et les éléments chimiques en abscisse linéaire. L'axe des abscisses peut inclure jusqu'à six paramètres ou éléments chimiques différents. Le type d'eau est défini généralement par les deux pics maxima dont l'un correspond à un cation et l'autre à un anion. [6].

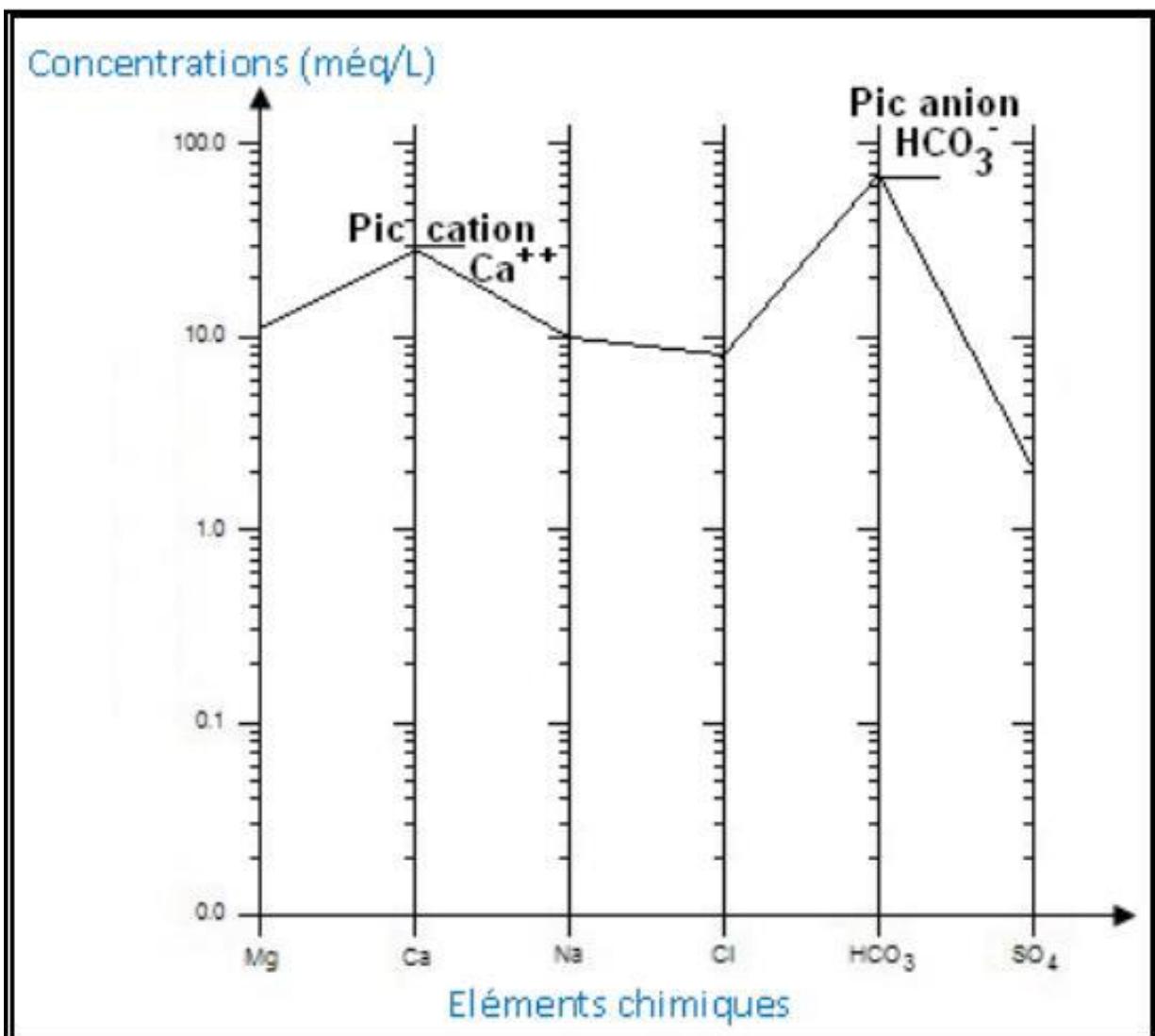


Figure n° 11:Diagramme de Schöeller-Berkaloff

Source : RANDRIAMITSIRY Tojonarindra Rémi[6]

Les outils d'analyses d'Aquachem couvrent un large choix de fonction et de calcul fréquemment utilisé pour les interprétations et comparaisons de données physico-chimiques des eaux.

On a récolté plusieurs données durant ce projet, comme des recherches géologiques au niveau de 16 sites de forages, mais on va s'intéresser surtout aux résultats des mesures et analyses physico-chimiques des échantillons d'eau qui seront la base de la modélisation avec Aquachem.

Nous avons utilisé différentes méthodes d'interprétation des données :

-Diagramme de Piper et diagramme de Schöeller-Berkaloff pour caractériser et classer les eaux ;

-Méthodes d'analyse par histogrammes entre certains paramètres physico-chimiques.

II.3 Méthodologie

II.3.1 Présentation des données

Les résultats d'analyse sont obtenus par coopération entre le préleveur CGC et laboratoire de JIRAMA. L'échantillonnage des eaux de forage s'est fait dans seize villages de la commune Sarobaratra qui était district de Tsaratanana. Après les prélèvements, les échantillons ont tous été analysés dans le laboratoire de JIRAMA (Annexe3). Des recherches bibliographiques, sur des sites internet amplifiant l'aide, et conseil d'encadrant que nous a été fait ces études. Nous avons effectués la mesure sur terrain des paramètres principaux de potabilité et d'analyse en laboratoires pour ces seize échantillons.

II.3.1 Méthodes d'analyses sur terrain

Les impuretés minérales ou organiques sans effet appréciable sur la santé, ou avec un effet direct ou indirect, comme la turbidité, les conductivités, la couleur et le pH sont analysées sur terrain.

II.3.1.1 Méthodes d'échantillonnages d'eau sur terrain

L'échantillonnage est l'un des paramètres qui peut modifier les résultats d'analyses. Tous ces prélèvements ont été effectués dans 16 puits durant la saison sèche. Dans tous les forages, deux ou trois paliers enchainés ont été réalisés avec prise régulièrement des paramètres comme le pH, la conductivité, le débit d'eau, la profondeur à chaque descente de palier (Annexe4).

II.3.1.2 Analyses de quelques paramètres physiques sur terrain

Sur terrain de prélèvement, on mesure trois paramètres parmi les paramètres physico-chimiques comme la turbidité, pH et la conductivité :

- ❖ Turbidité : elle a été déterminée visuellement
- ❖ pH : La détermination du pH se fait par utilisation de BBT ou rouge de phénol en ajoutant 6 à 8 gouttes puis après agitation on étudie la couleur de la solution par comparateur HYDROCURE pH (Photo 1).
- ❖ La mesure de conductivité se fait par le conductimètre portatif.

Après avoir vu les analyses sur terrain, il est nécessaire de compléter l'analyse en laboratoire.

II.3.1 Méthodes d'analyses au laboratoire

II.3.1.1 Prélèvement d'échantillon pour l'analyse au laboratoire

Pour chaque point de forage d'eau, on a pris un échantillon de 3 litres dans deux bouteilles stériles en les protégeant de la lumière. Puis, ils sont étiquetés pour éviter les confusions et envoyer au laboratoire le plus tôt possible de l'intervalle de 2 à 3 jours.

II.3.1.2 Analyses des paramètres physico-chimiques au laboratoire

a°) Analyses des paramètres physiques

❖ Conductivité électrique

La mesure de la conductivité électrique de l'eau permet :

-D'estimer la quantité des espèces chimiques en solution dans l'échantillon d'eau à étudier ;

-D'apprécier approximativement la minéralisation et la salinisation de l'eau

En principe la valeur de la conductivité électrique a été mesurée à l'aide d'un conductimètre (Photo 2) à lecture directe. La conductivité dépend de la température, elle est plus importante lorsque la température de l'eau augmente. Elle mesure la capacité de l'eau à conduire le courant électrique entre deux électrodes, et dépend de la teneur en sels minéraux dissous.

La conductivité électrique d'une eau s'exprime généralement en micron siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

On suit les étapes suivantes pour la manipulation de l'appareil :

- Plonger l'électrode dans l'échantillon après d'avoir rincé avec l'eau distillée
- Appuyer sur le bouton ON/OFF pour mettre l'appareil sous tension;
- Vérifier que la température de référence TREF 20°C , la constante de cellule 0,475 et la gamme de mesure linéaire Lin soient affichés, sinon effectuer les réglages ;
- Appuyer sur la touche x pour défiler les paramètres mesurable avec l'instrument ;

Enfin lire la valeur de la conductivité électrique en $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ avec la température en $^\circ\text{C}$ et la minéralisation en mg. L^{-1} en pressant x pour le voir. (Photo 2)

❖ Minéralisation totale

Le but de la mesure de minéralisation permet de connaître la saturation en sel de l'eau

En principe la minéralisation est une relation entre la teneur en sels dissous d'une eau et sa conductivité. La mesure est donnée par l'appareil conductimètre avec unité exprimé en mg/L .

L'appareil utilisé est le conductimètre en pressant le bouton x pour varier le paramètre désiré soit conductivité ou minéralisation en précisant que la température de référence pour la minéralisation est 25°C . Remarques : Une forte minéralisation résulte de la contamination (tableau n°2) ou de l'interaction de l'eau avec des roches comme des argiles et (ou) des marnes ou aussi de la relation directe de l'eau avec des sols salés.

Tableau n° 2:Qualité d'eau liée à la minéralisation

Qualité des eaux souterraines	Résidus secs [g/L de sels]
Douce	1
Faiblement salée	1 à 5
Saumâtre	5 à 10
Salée	10 à 50
Saumure	A partir de 50

Source : Mémento technique de l'eau 1963

❖ Température de l'eau

La mesure de température permet de connaître la qualité d'eau, la température accélère l'action bienfaisante de certains composés de l'eau sur les fonctions biologiques. (A. Robin, 1923)

La température est une grandeur physique à dimensions qui joue un rôle important dans toutes analyses surtout la réaction chimiques. L'unité le plus courant est le degré Celsius ainsi que le degré Kelvin en SI c'est-à-dire à partir du zéro absolue. La mesure de température est incorporée dans le conductimètre exprimé en degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

❖ Turbidité

La mesure de la turbidité permet d'évaluer la propreté de l'eau de mesurer leur teneur en suspension qui le trouble.

En principe, elle consiste en mesurant la réflexion de la lumière dans l'eau. Le faisceau lumineux traverse horizontalement la cuve contenant l'échantillon, une partie de cette lumière est diffusée grâce aux particules en suspension. On utilise un turbidimètre (Photo 3) pour la mesure de la turbidité. Elle est exprimée en NTU.

Certaine valeur d'intervalle permet de le classer comme suit :

- Valeur inférieur à 5 NTU pour l'eau claire
- Entre 5 et 30 on dit que l'eau légèrement trouble
- Supérieur à 50 on a des eaux troubles.

L'étape de la manipulation de l'appareil :

- Appuyer le bouton POWER et rincer à l'eau distillée la cuvette
- Agiter l'échantillon avant de mettre dans cuvette, ensuite placer la cuvette dans la porte cuve de mesure et fermer le capot
- Mesurer sur l'appareil en appuyant le bouton READ

❖ Potentiel Hydrogène

La mesure du pH permet de connaitre l'acidité ou la basicité d'une eau.

En principe, le pH est un nombre sans dimension qui correspond à la concentration en ions H_3O^{+} contenus dans la solution étudiée

Le pH est le cologarithme de la concentration en ion H_3O^+ dans l'eau, sa mesure est effectuée à l'aide d'un pH-mètre (Photo 4).

Etapes à suivre pour obtenir le résultat sur l'appareil :

- Mettre en marche l'appareil en appuyant le bouton On/Off et placer l'électrode dans l'échantillon après rinçage par de l'eau distillée.
- Attendre que la valeur sur lecture directe soit stable

b°) Analyses des paramètres chimiques

L'analyse chimique est composée de l'analyse volumétrique et colorimétrique.

- **Analyse volumétriques**

Il s'agit d'une analyse par titrage moyennant d'une solution titrant et une solution à titrer. Elle est utilisée pour :

- Le dosage des matières organiques
- Le dosage des ions chlorures
- Le titrage alcalimétrique (TA) et le titrage alcalimétrique complet (TAC)
- La détermination de la dureté totale et titre hydrotimétrique calcique
 - ❖ Le dosage des matières organiques ou oxydabilité en $KMnO_4$

Le dosage de la quantité de matières organiques permet d'estimer le degré de contamination de l'eau et l'éventuelle pollution exprimée en $mg\ d'O_2\ L^{-1}$.

Il consiste à déterminer l'oxydabilité des matières organiques au $KMnO_4$ (à chaud milieux alcalins) ou la quantité d' O_2 qu'elles enlèvent au permanganate (MnO_4^-).

Nous recommandons de suivre les instructions suivantes pour arriver aux résultats:

Etape1 :

- Prendre 100mL de l'échantillon en ajoutant 5mL de $NaHCO_3$ (0,1g/mL)
- Puis chauffer en ébullition et maintenir chaud dans 10min sur le four en ajoutant de $KMnO_4$ (10mL et N/80)

Etape2 :

- Ajouter 5mL de H_2SO_4 après 10mL sel de Mohr [$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6 H_2O$] de concentration $5g\text{L}^{-1}$
- Enfin titré par $KMnO_4$ et noté le volume utilisé jusqu'à l'obtention de couleur rose.

Remarque :

-Si la couleur violacée de $KMnO_4$ n'apparaît pas dans l'étape1 cela signifie que l'eau est très polluée car la solution de $KMnO_4$ ajouté est tous oxydé par les matières organiques(MO).

-Notons que lors de la recherche de volume blanc V_0 le même procédé que précédemment est utilisé en remplaçant l'échantillon par l'eau distillée. D'autre part la $V_{\text{matière organique}} = V - V_0$ avec V : volume de KMnO₄ utilisée pour l'eau analysée et V_0 : volume de KMnO₄ pour le blanc.

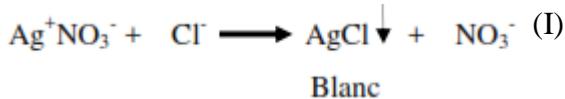
❖ Le dosage des ions chlorure:

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de sels de potassium (KCl).

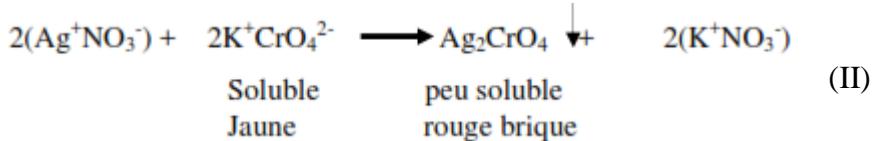
Les teneurs en chlorure des eaux souterraines sont liés à l'infiltration des eaux marines dans les nappes phréatiques et profondes, effet de l'activité humaine ainsi que la percolation à travers des terrains salés.[20].

En principe, la réaction des ions chlorures avec le nitrate d'argent donne un précipité de chlorure d'argent. En présence de chromate, les ions du chromate réagissent avec le nitrate d'argent pour donner un précipité rouge brique suivant la réaction ci-dessous :

AgCl : précipité blanc très peu soluble



Le chromate de potassium donne lieu à la réaction suivante :



En présence de chromate de potassium (K₂CrO₄), l'addition d'un petit excès d'ion argent entraîne la formation de chromate d'argent (Ag₂CrO₄) qui est un précipité de couleur rouge-brique. Cette réaction est utilisée pour l'indication du virage. Durant le titrage, le pH est maintenu entre 5 et 9,5 afin de permettre la précipitation.

Tableau n° 3: Classification des eaux souterraines par rapport au chlorure

Qualité des eaux souterraines	Douce, bonne	Faiblement salée	Saumâtre	Limite de la salinité	Limite de la salinité pour le bétail
Cl ⁻ (mg/L)	<150	150 à 500	500 à 700	700 à 1000	1000 à 2500

Source : RAKOTONDRAIBE [21]

Pour parvenir aux résultats, on va suivre les étapes suivantes :

- Prélever 100mL de l'échantillon en ajoutant 5 gouttes chromate de potassium
- Puis titrer avec AgNO₃ (jusqu'à obtention de couleur rouge brique avec jaune vert avant titrage).

Expression de résultat: la teneur en ion chlorure (mg/L) = V (nitrate d'argent versé) x 35,5

❖ Le Titrage Alcalimétrique (TA) et le Titrage Alcalimétrique complet (TAC)

Les TA et TAC permettent de connaître les concentrations en ions HCO_3^- et CO_3^{2-} contenus dans l'eau. En titrant l'eau à analyser avec un acide, on obtient un premier point d'équivalence qui est le TA et qui correspond à $\text{pH}=8,2$ (virage de la phénolphthaleine). À ce stade, on a neutralisé l'ensemble des hydroxydes et des carbonates.

En continuant le dosage, un deuxième point d'équivalence se produit à $\text{pH}=4,4$ (virage de l'hélianthine). On aura alors dosé la totalité des hydroxydes, carbonates et bicarbonates présents initialement.

On suit les étapes :

Pour TA :

- Prendre 100mL d'échantillon prélevé
- Ajouter quelques gouttes de phénophthaleine si pas de coloration donc $\text{TA}=0$ (rose en milieu basique). S'il y a changement de coloration (rose) on va titrer avec H_2SO_4 (réactif) donc il existe TA et sa valeur est le volume d' H_2SO_4 nécessaire pour disparaître la coloration en unité °f.

Pour TAC : Après détermination de TA, on continue le dosage avec le même échantillon que l'on a titré précédemment en ajoutant quelque goutte d'hélianthine (virage au jaune) puis titré deuxième fois avec H_2SO_4 après arrêté s'il y a changement de couleur, on note le volume de l'acide ajouté.(coloration jaune orangé)

Remarque : Si pH de l'échantillon est inférieur à 8,3 la valeur de TA sera nulle.

Tableau n° 4:Calcul des teneurs en hydroxyde, carbonate et bicarbonate en °f

Valeurs respectives des TA et TAC	Teneur en hydroxyde en °f	Teneur en Carbonate en °f	Teneur en bicarbonate en °f
TA=0	0	0	TAC
TA = TAC	TAC	0	0
TA < (TAC/2)	0	TAC x 6	(TAC-2TA) x 12,2
TA = (TAC/2)	0	TAC x 6	0
TA > (TAC/2)	(2TA-TAC) x 3,4	2(TAC-TA) x 6	0

❖ Dureté totale TH et Dureté calcique THCa

Le TH permet de déterminer la dureté de l'eau (tableau n°5). Il indique la teneur globale de l'eau en sels de Ca^{++} (sels de chaux) et en Mg^{++} (magnésie).

En principe nous avons utilisé la méthode complexométrique en utilisant l'acide Ethylène Diamine Tétra Acétique (EDTA). En effet, en présence de cet agent complexant, les ions métalliques forment des complexes stables en milieu basique ($\text{pH} > 8$). L'unité utilisée pour la dureté de l'eau est le degré français ($^{\circ}\text{f}$).

Tableau n° 5:Classification des eaux souterraines par rapport à la dureté

TH($^{\circ}\text{f}$)	1 à 7	7 à 15	15 à 20	20 à 25	>25
Eau	Douce,bonne	Faiblement salée	Assez salée	Limite de salinité	Dure

Source : **RANDRIAMITSIRY Tojonarindra Rémi(2017)**[6]

On va suivre les étapes suivantes pour obtenir les résultats :

Pour TH:

-Prendre 100mL d'eau à analyser puis ajoutant 2mL de tampon TH (avec pH sensiblement égale à 10) en ajoutant quelques gouttes de NET titré avec l'EDTA de normalité N/50. (Rouge vineux puis fin du dosage lorsque la solution apparaît bleu).

Pour THCa :

-Prendre 100mL d'échantillon + 2mL d'hydroxyde de sodium (3N) + quelques pincé de cristaux Patton et Reeder (1%) (Rouge vineux) puis titré avec l'EDTA changement de couleur bleue.

Remarque : Solution de Noir Eriochrome T dans l'alcool éthylique à 0,4% ce que nous appelons NET qui est l'indicateur colorants des cations

Expression des Résultats:

Méthodes pour calculer la somme en Mg et Ca.

La dureté magnésienne (concentration en Mg^{2+}) est la différence entre la dureté totale et la dureté calcique :

$$\text{TH}_{\text{Mg}} = \text{TH} - \text{TH}_{\text{Ca}} = V - V' \quad (1)$$

Si V' est le volume de l'EDTA versé pour une prise d'essai de 100 ml, la dureté calcique en degré français ($^{\circ}\text{f}$) et celle V pour le TH $\text{TH}_{\text{Ca}} = V' \text{ } ^{\circ}\text{f}$ et $\text{TH} = V \text{ } ^{\circ}\text{f}$ (2)

Sachant que $1 \text{ } ^{\circ}\text{f} = 4 \text{ mg/L}$ de Ca^{2+} d'où $[\text{Ca}^{2+}] = 4 V'$ en mg/L (3)

Pour le Magnésium :

Connaissant la dureté totale d'une part et la dureté calcique d'autre part, il est facile de calculer la dureté magnésienne :

On sait que : $\text{TH} = \text{TH}_{\text{Ca}} + \text{TH}_{\text{Mg}}$ d'où $\text{TH}_{\text{Mg}} = \text{TH} - \text{TH}_{\text{Ca}}$ (en $^{\circ}\text{f}$)

Sachant que $1 \text{ } ^{\circ}\text{f} = 2,43 \text{ mg/L}$ de Mg^{2+} Finalement : $[\text{Mg}^{2+}] = 2,43 \times \text{TH}_{\text{Mg}}$ en mg/L (4)

- **Analyses colorimétriques**

- ❖ Analyse des nitrites NO_2^-

Il suffit de doser les ions nitrites dans l'eau. Le nitrite est l'un des éléments indésirables dans l'eau mais à quelques fois il est sous forme de trace dans l'eau potable. Les nitrates proviennent habituellement de la nitrification de l'azote organique, mais il faut tenir compte de la teneur en ces éléments des terrains traversés. L'ammoniaque pure forme avec les ions nitrites un composé coloré en jaune dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrite. Le zambelli réagit avec les ions nitrites en formant un complexe jaune.

En principe à un certain pH bien défini (acide ou base selon l'utilité), certain composé du réactif introduit dans l'échantillon à analyser forme avec les ions nitrites un complexe coloré mesurable au spectrophotomètre à $\lambda=540$ nm dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en nitrites.

On va suivre les étapes suivantes :

- Prendre 50mL de l'échantillon en ajoutant 2mL de Zambelli
- Après 10minutes ajouter 2mL d'ammoniaque 20%
- Patienter 15min puis mesurer la valeur par un spectrophotomètre (Photo 5) de longueur d'onde $\lambda=540\text{nm}$, en choisissant le code NitZ

Remarque : L'acide sulfanilique en milieu chlorhydrique et en présence d'ion ammonium et de phénol (= réactif de ZAMBELLI)

Notons que la valeur de concentration en ion nitrite sera exprimée en mgL^{-1}

- ❖ Dosages des ions nitrates NO_3^-

Il s'agit de doser les ions nitrates (NO_3^-) contenus dans l'eau. L'augmentation de taux en nitrate est reliée directement à l'environnement et aux activités humaines.

En principe, l'objectif de cette manipulation est d'identifier le taux en nitrate dans l'eau. Pour cela, la méthode colorimétrique est appliquée.

Des réactifs sont introduits dans l'échantillon à analyser, ceux-ci induisent la formation de dérivés colorés de nitrates qui sont mesurable au spectrophotomètre en suivant les processus suivants ;

- Prélever 10 mL d'échantillon d'eau
- Ajouter 1 mL de solution de salicylate de sodium à 0,5% ainsi qu'une goutte de soude (NaOH) de normalité 3N ;
- Evaporer à 105°C dans une étuve puis laisser refroidir ;
- Ensuite reprendre le résidu puis dosé par 2mL d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré en ayant soin d'humecter soigneusement ;
- Attendre 10 min avant d'ajouter 15 mL d'eau distillée ;
- Ajouter 15 mL d'un mélange de soude avec tartrate double de sodium et de potassium ;

- Enfin faire la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda=540$ nm.
- ❖ Analyse des sulfates SO_4^{2-}

La mesure de la concentration des ions Sulfates dans l'eau permet d'évaluer la présence de Soufre. En principe, les sulfates se précipitent en milieu chlorhydrique à l'état de sulfate de baryum et les précipitations stabilisées ainsi obtenues sont mesurées au spectrophotomètre à cause de la difficulté qu'on éprouve pour isoler le précipité :



Les étapes à suivre pour conduire au résultat:

- Prendre 20mL de l'échantillon
- Ajouter 0,5mL d'HCl 10% puis BaCl_2 stabilisée de volume 2,5mL
- Agiter énergétiquement et laisser reposer pendant 15min
- Puis lecture sur spectrophotomètre $\lambda= 650\text{nm}$ en choisissant le programme Su12 et le résultat mesuré est la concentration de sulfate en mg/L.
- ❖ Dosage de l'ammonium NH_4^+

Il s'agit d'évaluer la quantité d'ions ammonium présente dans l'eau. L'ammonium provient de la dégradation incomplète des MO et autres facteurs de réaction minéraux entre le fer et le nitrate. L'ammonium est plus fréquemment trouvé sous forme de chlorure d'ammonium.

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

Pour arriver au résultat on procède les étapes suivantes:

- Toute la verrerie doit d'abord être lavée avec de l'acide chlorhydrique à 5%, puis rincée avec de l'eau désionisé ou fraîchement distillée ;
- Dans une prise de 50 mL, ajouter 2 mL de phénol 10%, 2 mL de nitroprussiate de sodium 0,5% et 5 mL de solution oxydante ($\frac{4}{5}$ tricarbonate de sodium + $\frac{1}{5}$ eau de Javel) ;
- Agiter énergiquement et laisser reposer pendant 1 heure ;
- Faire la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde $\lambda=640$ nm d'où la valeur mesurée de la concentration en ammonium est exprimé en mg/L ;
- ❖ Dosage du fer total

Le dosage du fer total dissous est primordial dans la détermination de la corrosion pouvant se produire dans le réseau de distribution.

En principe, dans un milieu ammoniacal le diméthylglyoxime donne un complexe de coloration rose avec l'ion ferreux donc il faut étudier la concentration en fer en fonction de mesurer l'intensité de coloration.

Il faut agiter l'échantillon avant de mettre tous les opérations suivantes et rincer avec HCl le bêcher à utiliser.

- Prendre 100mL de l'échantillon en ajoutant pincé de Dithionite de sodium
- Après l'agitation ajouter 2mL diméthylglyoxime 0,5%(qui est un N,N'-Dihydroxy-2,3-butanediimine), agiter
- Ajouter 2mL de NH₃ (10%) enfin l'étude de couleur par de comparateur hydrocure.
- Mettre de l'échantillon brute (ou dilué) dans l'autres cuvette qui sert comme blanc ;
- Comparer la couleur de la solution obtenue avec celles des plaquettes étalons 0,06 à 1 mg/L ou 0,3 à 5 mg. L⁻¹.
- Lire la teneur en fer correspondante en mg. L⁻¹

❖ Détermination de taux en Sodium : Le sodium est déterminé par calcul sur ordinateur. Le principe de ce calcul est basé sur la méthode d'équilibre ionique.

Les clichés des photos qui s'ensuivent nous montre les matériels utilisés pour les analyses physico-chimiques des eaux.

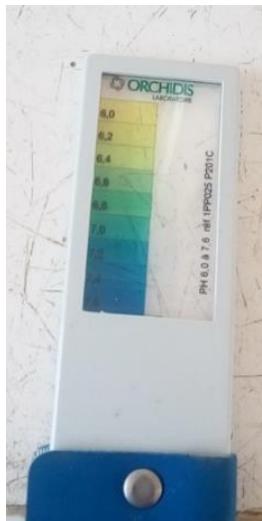


Photo 1:Comparateur HYDROCURE pH



Photo 2:Conductimètre de laboratoire à multiple fonction « Modèle LF 538WTW »



Photo 3: Turbidimètre



Photo 4:pH-mètre



Photo 5: Spectrophotomètre

Pour conclure, l'appauvrissement en eau potable dans les milieux ruraux a prouvé.

Les problèmes majeurs concernant la qualité de l'eau reposent notamment sur la propagation des maladies d'origine hydrique à cause des manques d'hygiène et traitements. Le paragraphe précédent a montré l'expérience effectuée durant ce travail de recherche. Et après avoir vu tous ces méthodes d'analyses, nous conduisons aux résultats, que l'on va interpréter et discuter.

Chapitre III : RESULTATS, INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS

Ce dernier chapitre élucide les résultats d'analyses des eaux de forages dans la Commune Sarobaratra, en vue de sa potabilité. L'hydrochimie est utilisée comme un outil de compréhension des concentrations en ions majeurs présent, qui a des effets sur la qualité physico-chimiques des eaux souterraines. De plus, on va voir aussi le faciès des eaux souterraines de notre zone d'études à l'aide des diagrammes de Schöeller-Berkaloff et Piper.

III.1 Comparaisons des résultats d'analyse physico-chimiques par rapport aux valeurs désirés :

III.1.1 Comparaison des résultats physiques par rapport à la Norme Malagasy

Concernant la qualité physico-chimique des eaux, et avant de traiter et d'interpréter les analyses des eaux prélevées au niveau souterraines, il faut analyser la fiabilité des résultats de ces analyses, les comparer avec la norme (tableau n°6 et n°7)

Tableau n° 6:Résultats de l'analyse paramètres physiques

N° Identité	VILLAGES	Aspect	Odeur	Turbidité	pH	Conductivité électriques	Matières Organiques
TSR 002	AMBOHIMIARINA SUD	Clair	Absence	3,85	3,31	70,9	0
TSR 003	AMBOHIMIARINA NORD	Clair	Absence	4,61	6,31	52,2	0,5
TSR 004	AMPASIMAZAVA	Limpide	Absence	1,47	6,66	118	0,18
TSR 005	SAROBARATRA BAS	Clair	Absence	2,41	7,3	390	0,68
TSR 006	SAROBARATRA HAUT	Clair	Absence	4,49	7,42	312	0,76
TSR 007	MORAFENO 1	Limpide	Absence	0,77	7,45	413	1,44
TSR 008	AMBALATEVANA	Limpide	Absence	1,56	7,25	74,8	1,76
TSR 010	MORARANO 1	Limpide	Absence	2,03	7,3	72,1	1
TSR 011	MASOKOMENA 1	Limpide	Absence	0,53	7,38	213	1,44
TSR 012	MASOKOMENA 2	Limpide	Absence	0,55	7,47	385	1,06
TSR 013	MANONGA SUD	Limpide	Absence	1,81	7,36	204	1,06
TSR 014	BEKABIJA	Trouble	Absence	7,54	7,17	40,1	0,34
TSR 015	MORARANO 2	Limpide	Absence	2,18	7,21	87,4	0,58
TSR 017	MANONGA NORD	Limpide	Absence	2,39	7,44	208	1
TSR 018	ANTANANDAVA	Limpide	Absence	5	7,33	149,5	0,8
TSR 019	MORAFENO 2	Limpide	Absence	1,22	7,84	521	0,8
Valeur Maximale Admissible pour le Norme Malagasy		Limpide	Absence	5	6,5 à 9	3000	2

Conductivité électriques exprimé en $\mu\text{S/cm}$; Matières Organiques exprimé en mg de O_2/L ; Turbidité exprimé en NTU et TDS exprimé en mg/L.

III.1.1.1 Paramètre du pH

Le pH est un paramètre très important dans la qualité de l'eau. Les microorganismes se multiplient dans une gamme étendue de pH. Cependant chaque espèce à un pH optimum de croissance.

Dans de l'eau pure la concentration en ion OH⁻ et H₃O⁺ est en équilibre mais la pénétration des substances entraîne les changements de ces deux concentrations et ce qui provoque la variation du pH au cours du temps (Figure n°12).

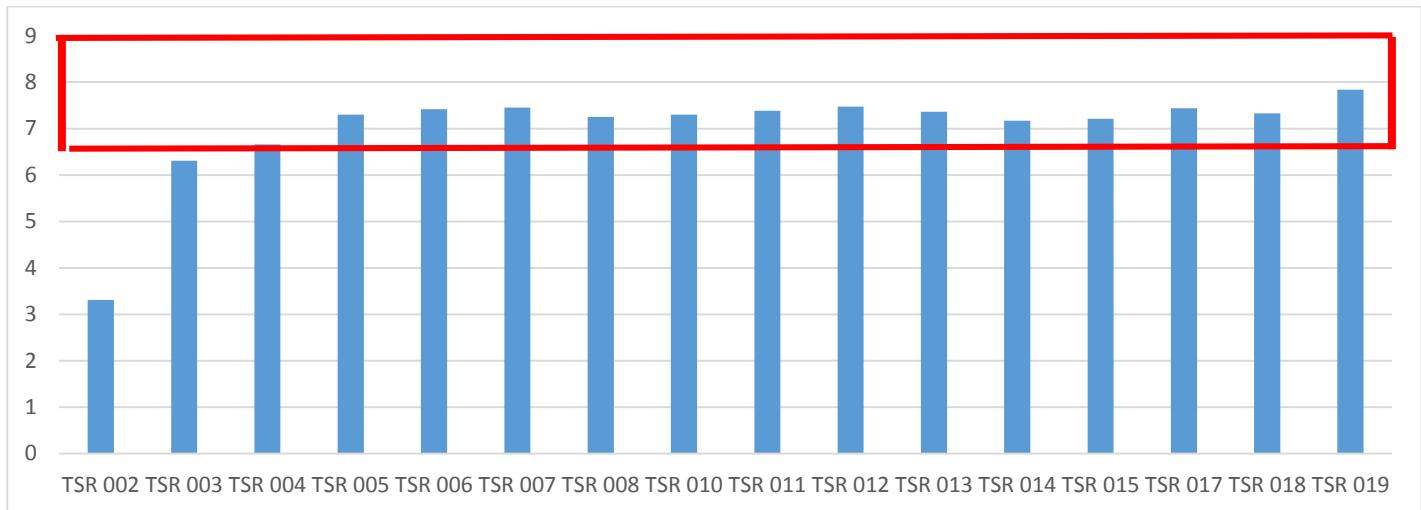


Figure n° 12: Variation du pH de l'échantillon

 Gamme de potabilité selon la norme Malagasy

Le pH de l'eau est presque neutre pour toutes les stations à l'exception de deux stations (TSR002 et TSR003), l'eau est acide. Le pH est acide dans les eaux des aquifères sableux ou granitique mais il est alcalin dans les calcaires. Généralement, sa valeur varie entre 3,31 à AMBOHIMIARINA SUD (TSR002) et 7,84 au port MORAFENO 2 (TSR019).

Les valeurs de ce paramètre restent relativement élevées dans la partie Sud-Ouest de la Commune, celle du Nord-Ouest au niveau d'AMBOHIMIARINA Sud (TSR002) et AMBOHIMIARINA Nord (TSR003) où ont lieu une légère diminution du pH acide qui est au-delà d'intervalle du NM sur la potabilité Malagasy.

De ce fait, on sait que la présence de roches calcaires imperméable entraîne la basicité de l'eau. Or les roches granitiques provoquent la richesse des eaux en acides. L'eau va dissoudre la roche puis entraîne l'augmentation en apport minérales.

III.1.1.2 Température

Pour les eaux souterraines, la température varie avec la profondeur et la nature des aquifères. (Tableau n°7)

Tableau n° 7: Variation de la Température en fonction de profondeur et nature de l'aquifère

Code forage	Profondeur(m)	Débit (m ³ /h)	Température (°C)	Nature de l'aquifère
TSR002	29,90	9	20,5	Sable grossier
TSR003	39,40	9	20,9	Grès à sable grossier
TSR004	35,75	>10	20,9	Sable grossier
TSR005	35,95	5	20,6	Grès
TSR006	31,65	4	20,9	Grès
TSR007	36,85	6,75	15,4	Grès
TSR008	23,95	6	20,9	Grès
TSR010	45,30	>10	18,2	Grès à sable grossier
TSR011	21,60	2,30	15,5	Argile grisâtre
TSR012	22,25	8	15,5	Sable moyen
TSR013	29,55	7,2	18,1	Grès à sable grossier+ galet arrondi
TSR014	39,90	12	20,7	Sable moyen+argile
TSR015	31	>10	18,1	Sable grossier
TSR017	35,35	12	18,1	Grès à sable grossier
TSR018	35,65	9	18,1	Grès
TSR019	26,75	3,2	18,1	Grès

Les températures moyennes des eaux de forages oscillent entre 15,40°C dans la station TSR007 (MORAFENO1) et 20,90°C celle dans la station TSR008 (AMBALATEVANA). Ces valeurs assez faibles par rapport à celle de norme de potabilité des eaux malagasy.

Cette variabilité est probablement liée à la profondeur des puits. Les puits dont les profondeurs sont inférieures à 5m sont plus influencés par la condition climatique (Rosen M., 1998).

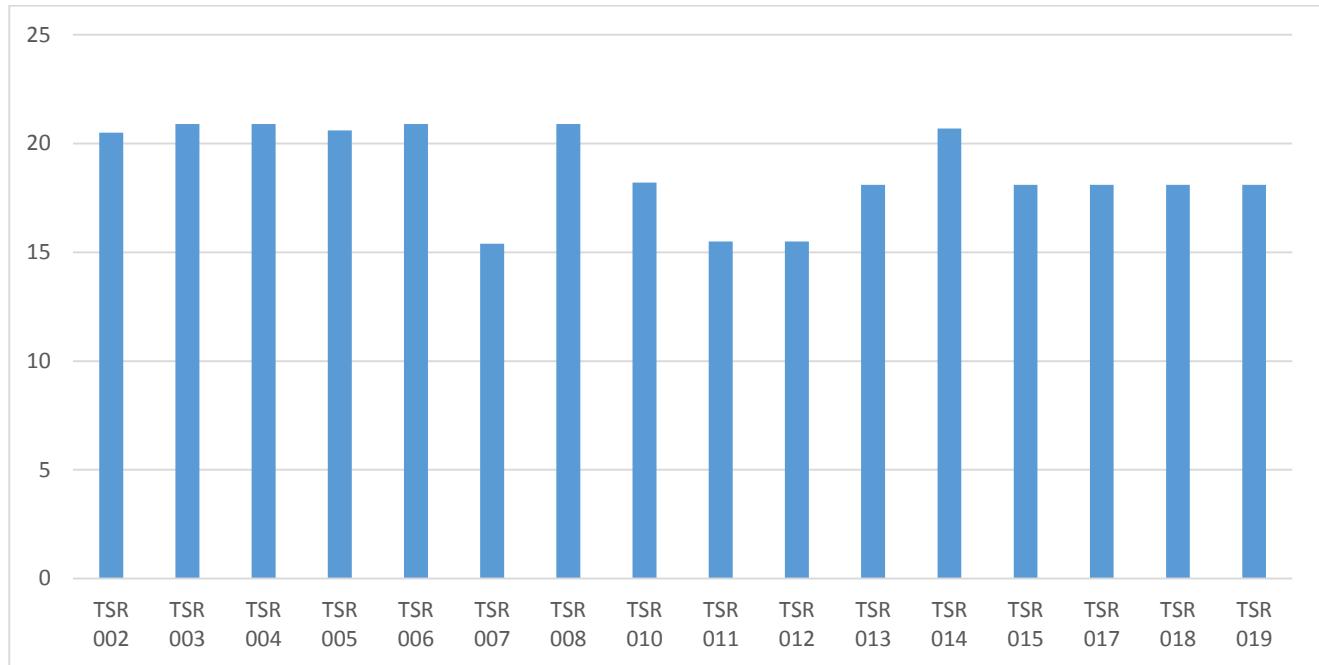


Figure n° 13:Variation de la température pour chaque échantillon d'eaux

III.1.1.3 Turbidité

Une turbidité visible réduit l'acceptabilité de l'eau de consommation. Bien que la plupart des particules qui contribuent à la turbidité n'aient pas d'impact sur la santé (même si elles peuvent être indicatrices de la présence de contaminants chimiques et microbiens dangereux). Des nombreux consommateurs associent la turbidité à la sécurité sanitaire et considèrent qu'une eau trouble est impropre à la consommation.

On constate que 6,25% de l'eau prélevé ne conforme pas au NM pour la turbidité mais elle oscille entre 0,53NTU et 7,54NTU de valeur moyenne 2,65 NTU. L'eau est filtré par le milieu sableux ce qui provoque la majorité clarté de l'eau. La présence de particules non dissoutes dans l'eau de station TSR014 (BEKABIJA) produite par des argiles, alluvions dans les aquifères karstiques lui confère une certaine turbidité donnant un aspect désagréable à l'eau. La connaissance de la turbidité peut nous donner une idée sur la teneur en matières en suspension.

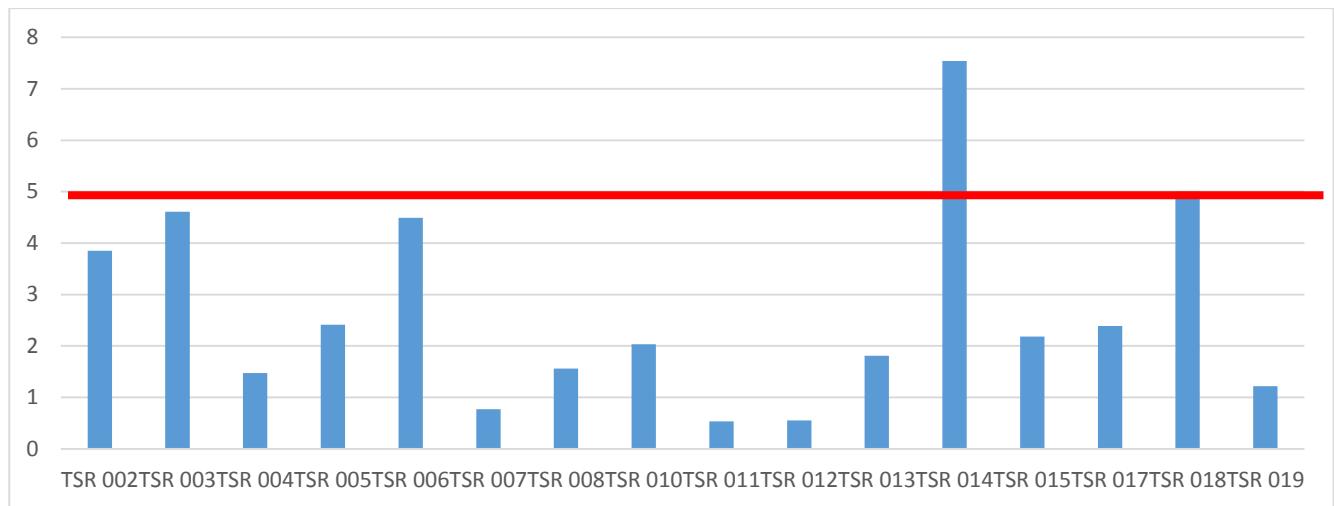


Figure n° 14:Turbidités dans différentes points de forages d'eau

— Droite de limite VMA

III.1.1.4 Conductivité électriques et la minéralisation

La conductivité électrique définit la quantité des sels minéraux ou des matières solides en solution contenues dans l'eau. Par conséquent, la mesure de la conductivité électrique permet d'évaluer la minéralisation globale d'une eau.

Les Conductivités varient généralement entre $40,1\mu\text{S}/\text{cm}$ et $390\mu\text{S}/\text{cm}$, toutes ces eaux sont conformes à la norme car les valeurs sont strictement très inférieures à celle de $3000\mu\text{S}/\text{cm}$ (Norme de potabilité).

Généralement, les eaux souterraines sont plus ou moins minéralisées en fonction:

- * de la nature des roches traversées et des minéraux rencontrés au cours de l'infiltration;
- * du temps de contact de l'eau avec les minéraux, donc de la vitesse de percolation de l'eau dans le sous-sol;

* du temps de renouvellement de l'eau de la nappe par l'eau d'infiltration.

On voit l'importance des minéraux solubles des roches et de la perméabilité de l'aquifère dans la minéralisation de l'eau. Sa valeur élevée est due à la forte concentration en NaCl en donnant un goût salé ou par l'échange de base avec les argiles et/ou les marnes.

III.1.1.5 Matière Organiques

Elle conditionne la potabilité d'une eau car elle permet de quantifier leur degré de pollution. La teneur en matière organique est faible dans toutes les points de prélèvements les eaux sont conformes aux normes de potabilité.

Nous avons constaté que sur les seize échantillons considérés trois échantillons pH (TSR003, TSR002) et turbidité (TSR014) ne sont pas conforme à la Norme de potabilité Malagasy sur les paramètres physiques. Dans ce qui suit, nous allons détailler la potabilité d'eau suivant les paramètres chimiques.

III.1.2 Comparaison des résultats chimiques par rapport à la norme

Tableau n° 8: Résultats des analyses chimiques

N° Identité	TH	THCa	TA	TAC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Fe	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻
TSR 002	1,7	1,3	0	2,6	5,2	0,97	1,72	0,07	0	0	31,72	2,84	7,85	0,03	0,52
TSR 003	1,5	1	0	2	4	1,22	1,84	0,08	0,02	0	24,4	2,84	3,75	0,02	0,55
TSR 004	4,4	3,5	0	5	14	2,19	4,13	0,08	0,02	0	61	5,68	4,43	0,1	0,67
TSR 005	25	18	0	19,4	72	17,01	4,6	0,08	0,02	0	236,68	7,1	5,8	0,01	0,61
TSR 006	20	16	0	15,4	64	9,72	4,14	0,09	0,02	0	187,88	6,39	6,48	0,04	0,67
TSR 007	28,5	22,8	0	25,2	91,2	13,85	3,68	0,04	0,04	0	307,44	5,68	0	0,76	1,02
TSR 008	3,5	1,7	0	3,6	6,8	4,37	3,23	0,08	0	0	43,92	5,68	7,4	0,1	0,54
TSR 010	3	1,7	0	2,8	6,8	3,16	3,68	0,01	0,08	0	34,16	5,68	0	0,06	0
TSR 011	12,7	5,4	0	11,5	21,6	17,74	3,22	0	0,02	0	140,3	4,97	0	0,06	0,56
TSR 012	28	21	0	22	84	17,01	2,76	0,04	0,06	0	268,4	4,26	0	0,15	0,61
TSR 013	7,2	3,8	0	7	15,5	8,26	8,4	0,01	0	0	85,4	7,1	0,21	0,06	0
TSR 014	4,2	0,8	0	2	3,2	8,26	3,68	0,11	0	0	24,4	5,68	0	0,02	0,52
TSR 015	3,8	2,4	0	3	9,6	3,4	2,3	0,01	0,02	0	36,6	3,55	0	0,06	0
TSR 017	9,5	6,5	0	9	26	7,29	6,69	0,01	0,04	0	109,8	6,39	0,58	0,07	0
TSR 018	8	4,3	0	6,7	17,2	8,99	2,3	0,07	0,04	0	81,74	3,55	0,49	0,06	0
TSR 019	33,8	22,3	0	27,2	89,2	27,95	4,14	0,03	0,02	0	331,84	6,39	6,49	0,06	0
NM	50				200	50		0,5	0,5			250	250	0,1	50

TH, THCa, TA et TAC sont exprimés en °f et celle de concentration des ions en mg/L.

Rémarques: les chiffres en rouge avec case coloré en vert dans ces deux tableaux marque la non-conformité à la norme de potabilité Malagasy.

III.1.2.1 Calcium

Le calcium est un élément principal de la dureté de l'eau, c'est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates CaCO₃.

Les concentrations en calcium varient entre 3,2mg/L et 91,2mg/L qui conforme à la norme de potabilité.

III.1.2.2 Magnésium

Dans cette étude la teneur de cet élément est comprise entre 0,97mg/L et 27,95 mg/L. Les échantillons sont potables, car la teneur acceptable soit inférieure à 50 mg/L pour le norme.

III.1.2.1 Nitrates

On constate que les analyses montrent que les eaux souterraines de Sarobaratra présentent des teneurs en nitrite comprises entre 0,01 et 0,75 mg/L. Ce sont les sites TSR007 (MORAFENO1) et TSR012 (MASOKOMENA2) qui dépassent la norme Malagasy. (tableau n°8)

On interprète que la présence de nitrite dans l'eau est un indice de pollution d'origine agricole (engrais).

Une eau contenant des nitrites est suspecte car cette présence est souvent liée à une détérioration de la qualité microbiologique. Les nitrites peuvent se former à partir d'une réduction des nitrates ou à partir d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque [22].

Les nitrates et nitrites entraînent dans la composition des eaux de surface et les nappes d'eau souterraines par l'infiltration de la pluie.

Les argiles sableuse à grain grossier constituant le toit de cet aquifère ne sont pas totalement imperméable. Les infiltrations efficaces qui se font au niveau de la porcherie sont chargées de nitrate (pollution organique azotée) et contaminent la nappe. Les points d'eau où convergent les animaux constituent des zones de concentration de la pollution organique azotées qui sont susceptible d'être lessivées vers les nappes souterraines [23].

Notons que, les nitrites réagissent avec l'hémoglobine normale pour former la méthémoglobin, affectant ainsi la capacité du sang à transporter suffisamment d'oxygène jusqu'aux cellules de l'organisme.

III.1.2.2 Sodium

Le principal minéral contenant le sodium est le sel gemme (chlorures de sodium). Des teneurs anormalement élevées peuvent provenir du lessivage ou de la percolation de terrains salés ainsi que de l'effet de la salinité marine. Le sodium varie entre 1,72mg/L et 8,4mg/L dans les seize échantillons.

III.1.2.3 Chlorures

Le taux en chlorure varie entre 2,84mg/L et 7,1mg/L. Après en comparant ces résultats avec le norme Malagasy, l'eau est conforme à la norme car la teneur en chlorures est inférieure à 250mg/L.

III.1.2.4 Sulfates

Les concentrations en sulfates varient entre 0 mg/L et 7,85 mg/L, tous les échantillons sont conformes à la norme de potabilité. La valeur maximale admissible (VMA) pour une eau potable est de 250 mg/L.

III.1.2.5 Nitrates

La norme fixe sa VMA à 50mg/L valeur au-delà de laquelle il confère à l'eau une saveur désagréable. Dans cette étude la teneur de cet élément est comprise entre 0 mg/L et 1,02mg/L.

D'après les résultats des analyses présentés dans les tableaux n°7 et n°8 comparés aux normes de potabilité tous les paramètres physico-chimiques sont admissibles sauf le pH, la turbidité et celle du nitrite. En effet, comme dans des différentes stations TSR002, TSR003, TSR007, TSR012, TSR014, on constate que les eaux sont non-conformes. Les deux paramètres (pH et nitrites) représentent une grande importance sur la qualité de l'eau et engendrent des impacts majeurs sur la santé des personnes qui la consomment, mais la turbidité élevée implique que l'eau est impropre à la consommation. En effet, on peut relier entre ces éléments et la géologie ou une origine anthropique.

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines. On observe principalement deux types d'influence:

- En agriculture
- Rejets des eaux usées.

Il est évident que la chimie des eaux souterraines dépend, principalement, de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjour des eaux.

Cette interaction influe sur la teneur des éléments majeurs tels que Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , HCO_3^- , Cl^- et SO_4^{2-} .

La qualité totale de l'eau souterraine dépend infiniment des aquifères, c'est pour cela qu'on a fait nécessairement appel à une étude géologique, hydrogéologique et hydrochimique rigoureuse. Mais, face à ces problèmes il faut étudier la qualité des eaux puis les essayer de classer suivant les différents paramètres qui les caractérisent.

III.2 Classification des eaux

Suivant la composition d'une eau, différents systèmes de classification hydrogéochimique peuvent être utilisés qui permet de marquer les ressemblances et différences entre les différentes marques d'eau. Ces classifications sont basées soit sur la minéralisation globale ou le solide total dissous, la dureté et les ions dominants. [24]

III.2.1 Classification selon la minéralisation

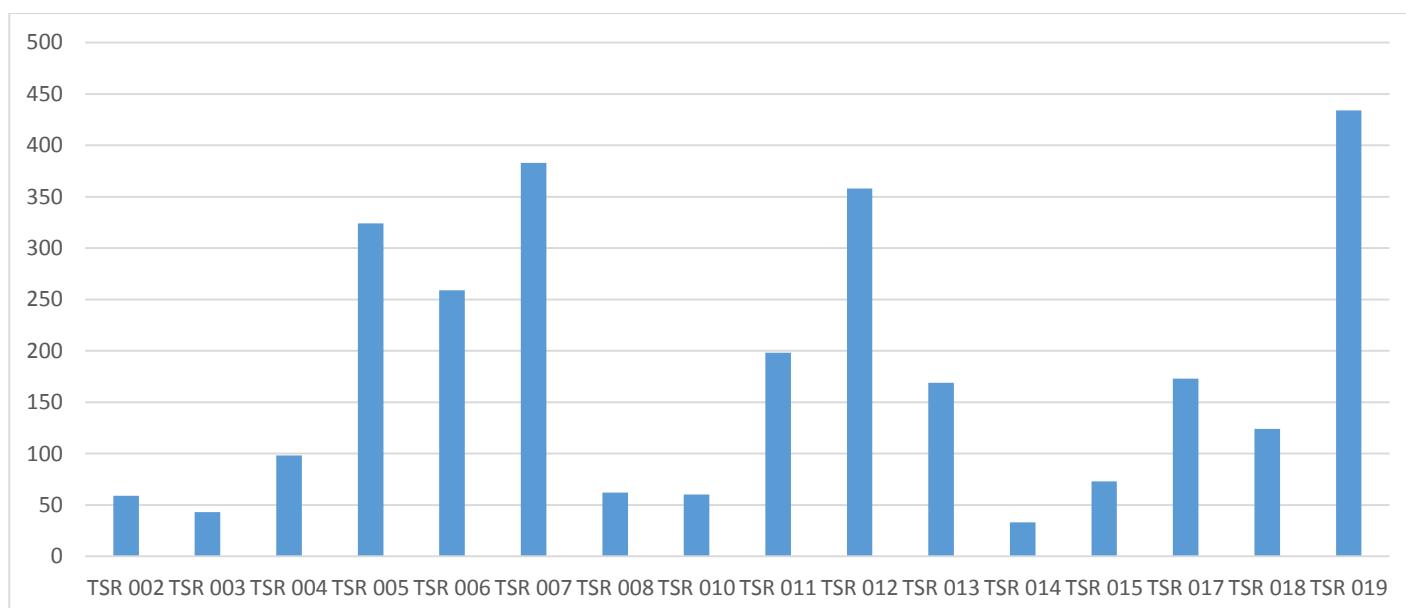


Figure n° 15:Représentation graphiques de minéralisations

Les valeurs extrêmes de la minéralisation enregistrées sont de 433 mg/L dans la station TSR019 (MORAFENO2) mais les valeurs inférieures est de 33mg/L celui de station TSR014 (BEKABIJA). Par ailleurs la saison sèche où a lieu une élévation de ce paramètre aidé par la forte évaporation.

Les eaux sont classées de très faiblement minéralisées (TDS <50 mg/L) à très fortement minéralisées (TDS >1500 mg/L) en passant par une minéralisation faible (50 mg/L < TDS <500 mg/L) ensuite modérée (500 mg/L <TDS <1000 mg/L) puis élevée (1000 mg/L <TDS <1500 mg/L). Pour nos échantillons, nous remarquons que seuls deux types d'eau sont très faiblement minéralisés (TSR014 et TSR003) alors que les autres sont faiblement minéralisées. [25] Normalement, le TDS est mesuré en déterminant la masse du résidu solide après évaporation de l'eau à 180°C [26].

Mais pour notre cas, la mesure se fait par le conductimètre.

III.2.2 Classification suivant la dureté

Le titre hydrotimétrique (TH) ou dureté totale d'une eau est la somme des duretés magnésiennes et calciques. Il est généralement exprimé en mg/L de CaCO₃. Si les concentrations en calcium et en magnésium sont en mg/L, on peut déterminer la dureté totale en mg/L de CaCO₃ en utilisant la relation ci-après [25] :

$$TH=2,5[Ca^{2+}] + 4,1[Mg^{2+}] \quad (5)$$

Suivant la valeur de la dureté TH (exprimée en mg/L de CaCO₃), les eaux sont classées comme douces (TH<50 mg/L de CaCO₃), modérément douces (50 mg/L de CaCO₃ <TH<100 mg/L de CaCO₃), entre douces et dures (100 mg/L de CaCO₃ <TH<150 mg/L de CaCO₃), modérément dures (150 mg/L de CaCO₃ <TH<200 mg/L de CaCO₃), dures (200 mg/L de CaCO₃ <TH<300 mg/L de CaCO₃) et très dures (TH>300 mg/L de CaCO₃) [27].

En appliquant cette relation (5) pour nos échantillons, le tableau n°9 ci-dessous montre tous les résultats de calcul :

Tableau n° 9:Classification des eaux selon la dureté

Code forage	Classe d'eau
TSR002, TSR003, TSR010, TSR008, TSR015, TSR014, TSR004	Eaux douces
TSR013, TSR018, TSR017	Eaux modérément douces
TSR011	Eaux entre douces et dures
TSR006	Eau modérément dure
TSR005, TSR012, TSR007	Eau dure
TSR019	Très dures

III.2.3 Classifications des eaux selon la formule caractéristiques [28]:

Cette classification a mis en évidence les faciès décrits sur le tableau n°10 [28]

Tableau n° 10:Classification selon les formules caractéristiques des eaux

Faciès chimiques	Sites (ou code forage)	Formules caractéristiques
Bicarbonatée Calciques	TSR002	$\text{HCO}^{3-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$
	TSR003	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
	TSR004, TSR005, TSR006	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
	TSR007	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
	TSR010	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} = \text{NO}_3^- \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
	TSR012	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
	TSR013	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
	TSR015	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} = \text{NO}_3^- \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
Bicarbonatée magnésique	TSR017, TSR018, TSR019	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$
	TSR008	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$
	TSR011	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$
	TSR014	$\text{HCO}^{3-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} \text{ et } \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$

Ce tableau met en évidence deux types d'eau souterraine de l'aquifère marne (grès et argile) de la région : -Bicarbonatée calciques

-Bicarbonatée magnésiques

Il a déjà été question de quelques procédés automatiques de comparaison d'analyse chimiques. Il est intéressant de faire, d'une façon systématique et automatique, un certain nombre de calculs de bases, ou de représenter toutes les analyses par un point dans le diagramme de Piper.

Mais il est possible également de visualiser la composition chimique d'une eau en utilisant le diagramme de Schöeller-Berkaloff: celui-ci représente chaque analyse par une ligne brisée, profil caractéristique de la concentration de chaque ion majeur en solution dans l'eau.

III.2.4 Classification par faciès des eaux

On enregistre donnée d'Excel format Feuille Microsoft Excel 97-2003 (.xls) pour que l'Aquachem 2011.1 puisse ouvrir. Les ions majeurs (Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^-) sont présents dans les différents échantillons d'eaux à concentrations variées. Les ions dominants peuvent être utilisés pour classer hydrochimiquement les types d'eau. De ce fait, plusieurs représentations sont utilisées, mais parmi lesquelles nous avons choisi le diagramme de Schöeller -Berkaloff et celle de Piper.

III.2.4.1 Classification selon le diagramme de Schöeller-Berkaloff

Ce type de représentation, établi par Schöeller et repris pas Berkaloff, nous portons sur un semi logarithmique les quantités en réactions des anions et des cations sur l'axe des ordonnées et sur les abscisses les éléments chimiques à pas régulier.

D'après la teneur ou la concentration en certains composants chimiques présents dans les échantillons des eaux de Sarobaratra, le diagramme de Schöeller-Berkaloff (figure n°16) montre les différents faciès chimiques:

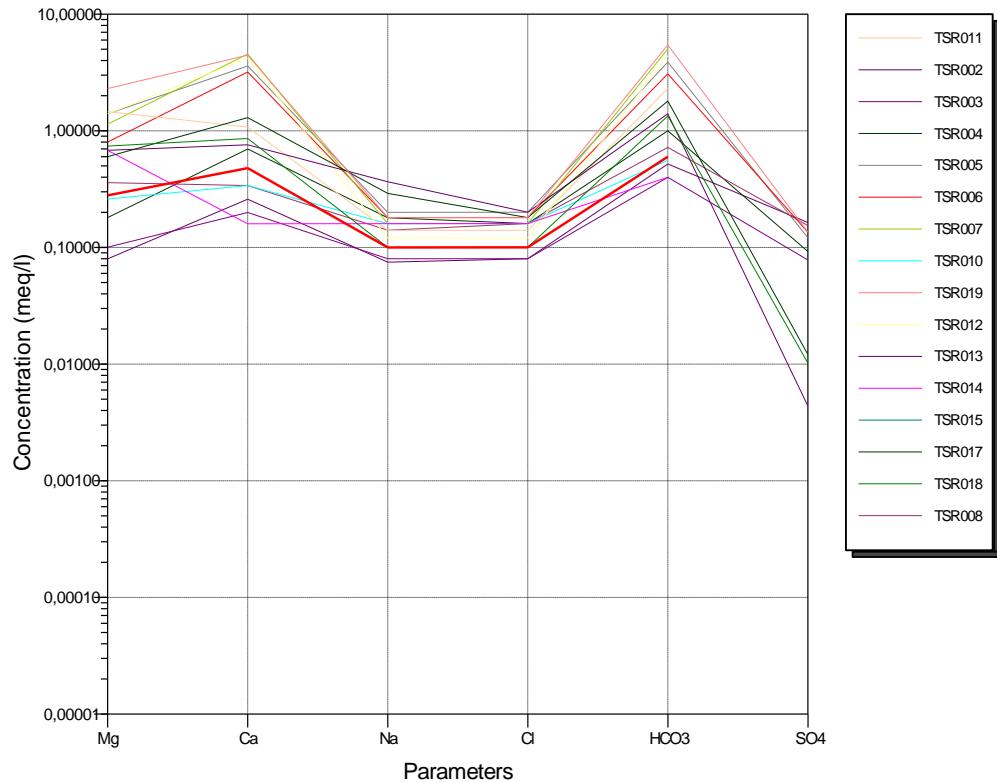


Figure n° 16:Diagramme de Schoëller-Berkaloff des eaux souterraines Sarobaratra

Dans le diagramme de Schöeller-Berkaloff, cette prédominance se traduit par des pics élevés au niveau de HCO₃⁻, Ca²⁺ et Mg²⁺ d'où faciès bicarbonaté calcique (TSR002, TSR003, TSR004, TSR005, TSR006, TSR007, TSR010, TSR012, TSR013, TSR015, TSR017, TSR018, TSR019) et faciès bicarbonaté magnésien (TSR011, TSR014, TSR008). La teneur en magnésium des sites (TSR011, TSR014, TSR008) peuvent être expliquée par l'interaction de l'eau avec des roches basiques (basalte)[29]. Tous les sites présentent une teneur en bicarbonate qui excède celle du chlorure et sulfate. Ceci pourrait être le résultat de l'interaction des eaux météoriques avec des minéraux carbonatés (calcaire).

III.2.4.2 Classification des eaux selon le diagramme de Piper

La représentation des éléments chimiques des différents échantillons sur le diagramme de Piper (figure n°17) montre les différents faciès des eaux :

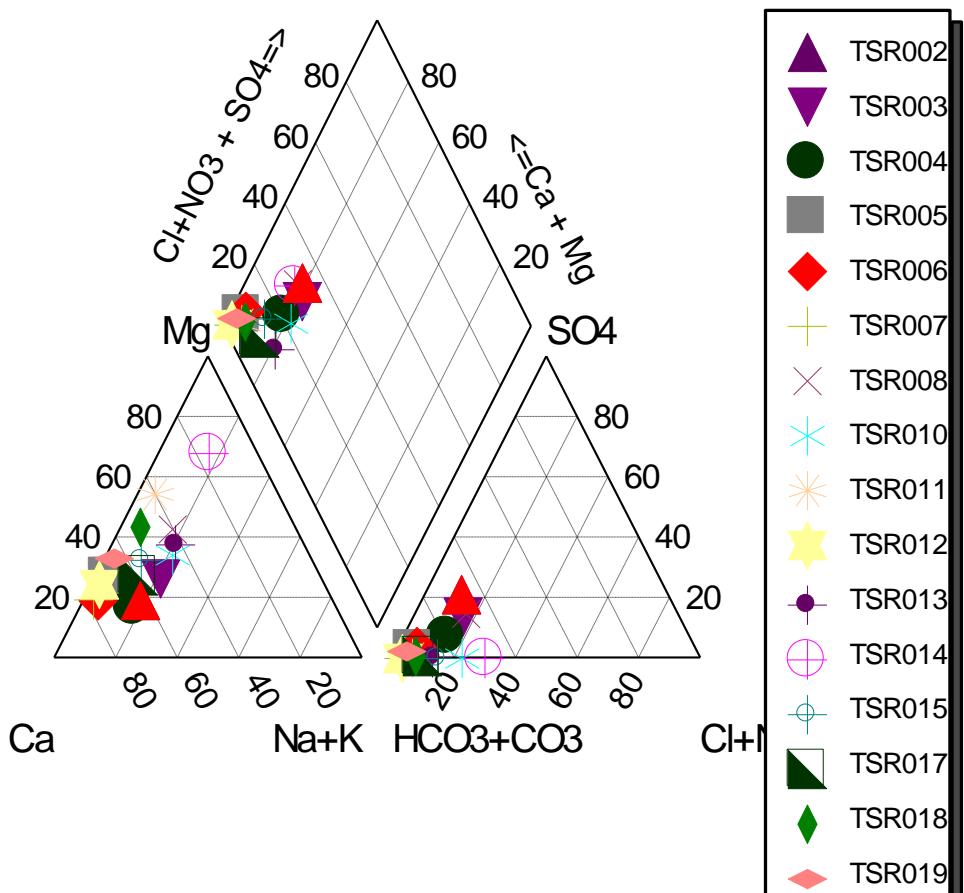


Figure n° 17: Représentation des résultats d'analyse des échantillons selon Piper

Les points se regroupent dans le pôle de l'ion bicarbonate HCO_3^- du triangle des anions d'où le faciès bicarbonatés. Les anions majeurs sont peu importants, l'ion Chlorure Cl^- possède une concentration moyenne élevée dans quelques échantillons. L'ion chlorure et sulfate SO_4^{2-} restent le moins faible pour tous les échantillons. Par contre, dans le triangle des cations, les points placés dans le pôle de l'ion calcium Ca^{++} dépassent largement ceux placés au pôle de l'ion sodique Na^+ mais proche de Mg^{++} . Ce cation désigne le nom du faciès de l'eau. Donc, pour les cations, l'eau est calcique. Mais, l'ion magnésium (Mg^{++}) n'est pas vraiment négligeable car des points assez importants sont situés en zone intermédiaire entre le pôle de Ca^{++} et celui du Mg^{++} dans de la station du TSR014 (BEKABIJA) d'où faciès magnésien. D'où le report des résultats des analyses des eaux sur le diagramme de Piper montre que les échantillons se regroupent sur le pôle caractérisant deux variabilité du faciès chimique dominants :

- le premier pôle se caractérise par un faciès bicarbonaté calcique (figure n°18)
- le deuxième pôle se caractérise par un faciès bicarbonaté calcique et magnésien (Figure n°19)

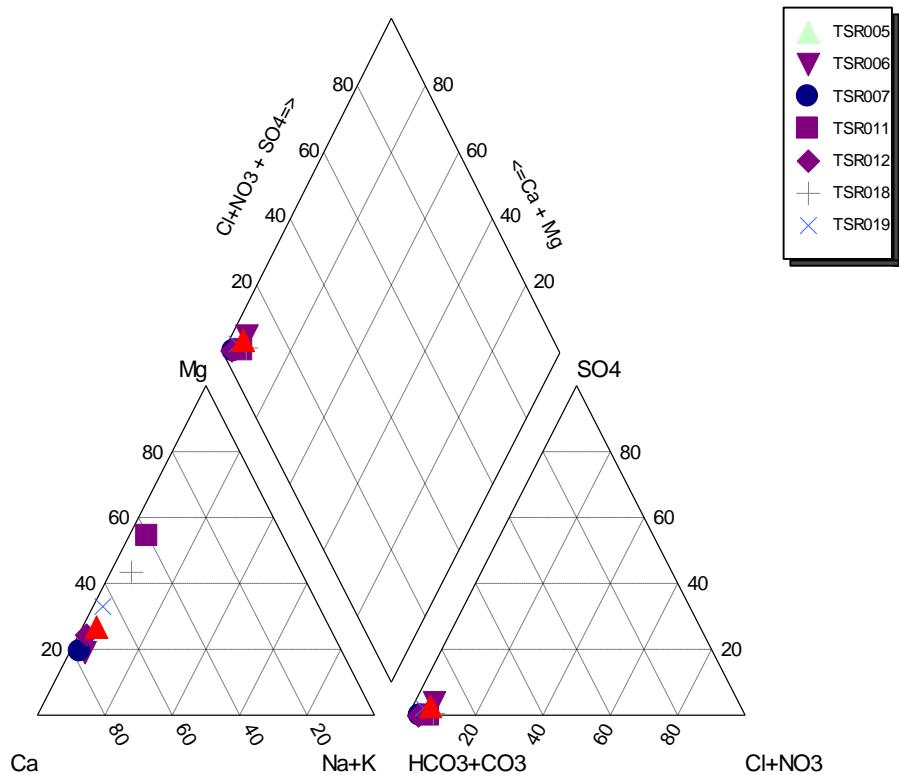


Figure n° 18: Diagramme de Piper (Faciès bicarbonaté calcique)

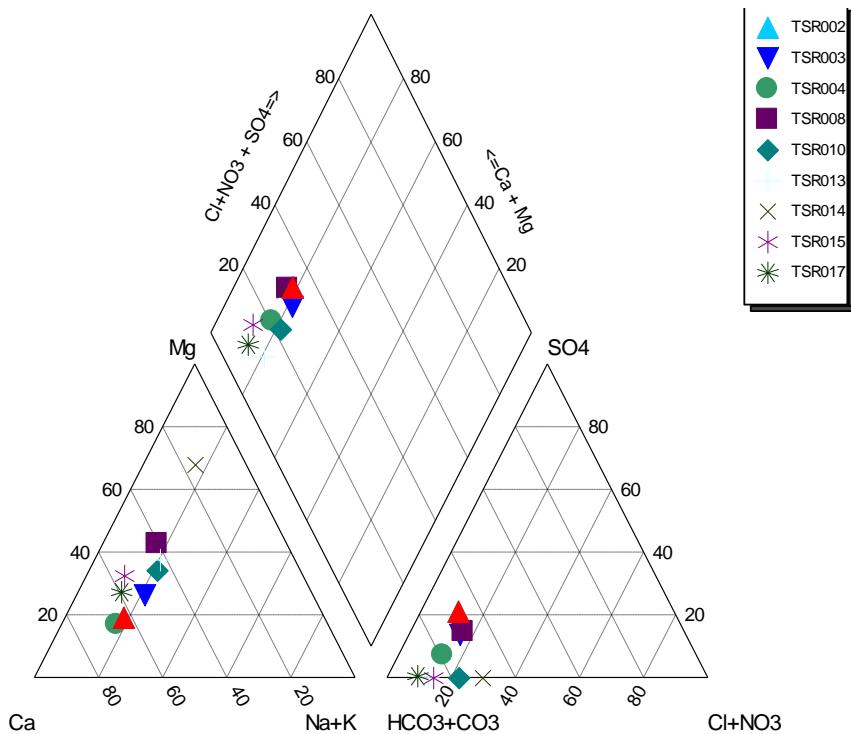


Figure n° 19:Diagramme de Piper (faciès bicarbonaté calcique et magnésien)

III.3 Faciès chimiques des eaux en fonctions de la géologie

❖ Faciès bicarbonatée calcique

La présence des ions Ca^{2+} dans les eaux des stations TSR018, TSR011, TSR012, TSR007, TSR019, TSR005, TSR006 (ANTANANDAVA, MASOKOMENA1, MASOKOMENA 2 ,MORAFENO 1, MORAFENO 2, SAROBARATRA BAS et SAROBARATRA HAUT) est liée principalement à la dissolution des formations carbonatées (CaCO_3) ainsi que les formations gypseuses, (CaSO_4) [30].

Les teneurs de l'ion Ca^{2+} sont comprises entre 17,2 mg/L comme valeur minimale et atteignent une valeur maximale de 91,2 mg/L au niveau du point d'eau situé à Sud-Ouest de la commune.

❖ Faciès bicarbonaté calcique et magnésienne

A partir du diagramme de Piper nous remarquons que le faciès chimique dominant est le bicarbonatée calcique et magnésienne dans les villages TSR002, TSR003, TSR004, TSR008, TSR010, TSR013, TSR014, TSR015, et TSR017. Les eaux souterraines de la région ont une tendance très remarquable vers la salinisation. Le faciès bicarbonate calcique et magnésien rencontré dans la roche basaltique prouve aussi la dominance de formation argileuse c'est-à-dire le basalte est couvert par de roche sédimentaire comme l'argile.[31]

Les bicarbonates proviennent de la dissolution des formations carbonatées (calcaire, dolomie) par des eaux chargées en gaz carbonique (CO_2). Selon l'équation suivante [32] :



Les concentrations en bicarbonates dans les différents échantillons analysés varient entre 24,4mg/L et 331,84mg/L. Ces fortes teneurs sont dues probablement à la dissolution des calcaires.

Les teneurs de l'ion Ca^{2+} sont comprises entre 3,2mg/L comme valeur minimale et atteignent une valeur maximale de 26 mg/L ainsi que les magnésiums varient entre 0,97mg/L à 8,26mg/L au niveau du point d'eau situé dans la partie Ouest de la Commune.

On peut dire que les concentrations de ces éléments naturels sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface. Après avoir pris conscience sur les trois cas des problèmes de non-conformité des eaux, nous avons cherché enfin trouvé des différentes manières de les traiter qu'on a essayé de les traiter de façon physico-chimiques, pour minimiser les risques liés à cette dégradation de qualité des eaux. Enfin, il est donc recommandé de sensibiliser davantage les populations pour l'aménagement des puits et la réalisation d'analyses régulières de qualité d'eau.

RECOMMANDATIONS

En premier lieu, les besoins en eau ne cessent pas de s'accroître donc il faut améliorer. Mais la base de l'amélioration en qualité est de planifier, réaliser, vérifier, corriger. De ce fait, le contrôle et le suivi de la qualité des eaux souterraines sont d'une grande importance dans le cadre d'une gestion durable de cette ressource vulnérable. Ce vaste territoire a fait l'objet de plusieurs études dont le but était la caractérisation qualitative des ressources en eau.

Cette qualité peut nous renseigner sur les facteurs qui régissent l'évolution de leur faciès hydrochimique; leur aptitude à la consommation domestique. Mais pour maintenir la concentration en sulfates, les nitrites et les nitrates lors de la venue d'eau d'infiltration, il faut les éloigner des milieux agricoles, zones d'industries.

Dans des formations de calcaire perméables et résistant, les eaux s'y infiltreront en partie en période pluvieuse et en ressortent sous forme de sources permanentes. Dans les zones renferment des affleurements important entraîne la majorité d'eau potable dans cette région. Avec l'augmentation des feux de brousse entraînant la destruction climatiques de la commune rurale Sarobaratra, il est attendu que des altérations des eaux superficielles et souterraines aient lieu. Pour des raisons purement naturelles, les processus de contamination sont évolutifs en fonction des facteurs propres à l'environnement économique et culture. Tels que le changement de température de l'échantillon entraîne rapidement la variation du pH et la quantité du gaz dissous (CO_2 , O_2 , SH_2). Les changements d'équilibre (pH, alcalinité, CO_2) peuvent provoquer une précipitation de carbonate de calcium et diminuent ainsi la teneur en calcium soluble. Les microbes aussi peuvent provoquer des changements des apports en nitrate-nitrites-ammoniaque.

Ensuite, nous allons proposer des essais de traitement des eaux non-conforme de la commune rurale Sarobaratra pour répondre aux besoins de la population. L'objectif essentiel est l'obtention de la qualité de ces eaux après traitement. Les essais se sont déroulés sur des solutions telles que les l'utilisation de sulfate d'alumine, hypochlorite de sodium mais les méthodes du traitement différent suivant les paramètres exigés :

- ❖ Traitement pour la turbidité élevée

Rappelons que les colloïdes de diamètres compris entre 0,0001 et 2 μm sont non décantable. Donc il faut les unir par adjonction de sel chargé positivement en indiquant comme coagulant le sulfate d'alumine dont la formule chimique est $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Après les flocs sont ensuite éliminés de l'eau traitée par procédés de séparation liquide-solide.

La flocculation consiste à agglomérer les particules désstabiliées par la coagulation, pour former des flocs denses et volumineux facile à décanter, et pour renforcer leur cohésion.

Des réactifs complémentaires sont utilisés pour améliorer la flocculation, les plus répandus étant les polymères organiques de type anionique, cationique ou non ionique.

❖ Traitement pour les pH des eaux acide :

Dans ce cas-là on utilise de filtre de neutralisation. La neutralisation permet d'ajuster le pH d'eau trop acide et, donc, souvent corrosive.

Pour réaliser cette neutralisation, l'eau percole dans un filtre contenant du calcaire d'origine marine et offrant une grande surface de contact ; le gaz carbonique est ainsi neutralisé et l'eau atteint son pH d'équilibre. Ce procédé est aussi utilisé pour neutraliser des eaux de rejet trop acides. Dans ces filtres de neutralisation, on peut également employer du marbre concassé à la place du calcaire marin.

❖ Le traitement de taux en nitrite élevé :

En cas du traitement de nitrite est la même que la nitrate car les nitrites sont rapidement convertis en nitrates par de nombreux désinfectants.

D'où des technologies de traitement centralisé impliquent une élimination physique/chimique et biologique des nitrates et comprennent qui permettent d'éliminer plus de 80% des nitrates à partir de l'eau pour obtenir des concentrations de nitrates dans l'effluent aussi faibles que 13mg/L ; les procédés de traitement conventionnels (coagulation, sédimentation, filtration) sont inefficaces.[33]

Tableau n° 11:Extrait du tableau de performance du traitement concernant les produits chimiques issus d'activité agricoles:

Elément	Chloration	Membranes	Traitement biologiques
Nitrite	++	+	+++

Source : Directives de qualité pour l'eau de boisson 2017

+ Élimination limitée

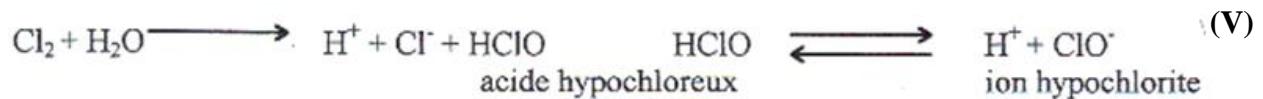
++ Élimination d'approximativement 50 % ou plus

+++ Élimination d'approximativement 80 % ou plus

❖ Traitement bactériologiques

Les bactéries, pour survivre, doivent s'adapter aux modifications de pH de l'environnement. *Escherichia coli*, par exemple, se multiplient à partir de pH égal à 4,4 jusqu'à un pH égal à 8 (Faber et coll., 1961). Les échantillons analysés dans notre étude présentent une valeur de pH dans cette intervalle qui est un milieu favorable à la multiplication des bactéries. Le traitement bactériologique en utilisant le désinfectant l'hypochlorite de sodium qui est obtenue avec l'appareil Antenna-Wata est une solution (Annexe 5), ainsi que pour garantir la qualité d'eau jusqu'au consommateur. En outre, l'hypochlorite de sodium réagit avec les substances azotées, les protéines animales et végétales lors des opérations de désinfection de locaux ou des végétaux. Elle produit alors des dérivés chlorés dont certains sont susceptibles de dégazer dans l'air.

L'ensemble des deux préciser dans l'équation est appelé chlore libre qui a été obtenu suivant les réactions réversible ci-dessous :



C'est l'acide hypochloreux qui réagit sur les bactéries. D'autres procédés de traitement utilisables dans certaines applications sont notamment :

- Désinfection solaire
 - Méthodes de bouillir l'eau à 100°C pour tuer les microbes contaminant

CONCLUSION

A Madagascar beaucoup de gens utilisent encore des eaux de puits comme source d'approvisionnement en eau potable. Une grande partie de la population rurale se fournit de ces eaux de puits pour répondre à leur besoin. Mais la majorité de ces puits n'est pas entretenue et ne correspond pas à la norme.

Dans ce contexte, les analyses déjà effectuées auprès du laboratoire de la JIRAMA Mandroseza montrent que la majorité des eaux utilisées par les populations de la Commune Sarobaratra sont de bonnes qualités physico-chimiques. On constate aussi que cinq stations sont considérées comme non potables pour la consommation. Le taux de nitrite est élevé dans les sites (TSR007, TSR012) ainsi que, la valeur de pH acide pour les sites (TSR002, TSR003) enfin turbidité élevée dans le site TSR014.

Ces non-conformités des eaux sont relié généralement de son environnant, les échanges entre les aquifères et les eaux de surfaces. En outre, les eaux sont classés de très faiblement minéralisés (TSR014 et TSR003) et les autres (TSR002, TSR004, TSR005, TSR006, TSR007, TSR008, TSR010, TSR011, TSR012, TSR013, TSR015, TSR017, TSR018, TSR019) sont faiblement minéralisées. Les eaux de la région sont douces (TSR002, TSR003, TSR010, TSR008, TSR015, TSR014, TSR004), modérément douces (TSR013, TSR018, TSR017), entre douce et dure(TSR011), modérément dures(TSR006), dures (TSR005, TSR012, TSR007) puis très dures(TSR019). L'utilisation de l'Aquachem 2011.1 pour étudier la chimie des eaux de la Commune Sarobaratra contribue à la classification de ses eaux.

Elle permet d'assurer une meilleure gestion des ressources en eaux surtout en termes de qualité dans le temps et dans l'espace. Les résultats obtenus ont permis de dégager les caractéristiques physico-chimiques et de définir les diverses classes ou faciès des eaux échantillonnées dans la région.

Dans cette Commune les seize échantillons prélevés dans des points d'eau implantés pour la majorité au niveau des carapaces sableuses , des alluvions sableuses et d'un système aquifère plus profond formé de grès. La concentration en bicarbonate domine largement pour les anions. Les diagrammes présentent que toutes les échantillons ont le faciès bicarbonatée. Ceci reflète la relation entre caractères physico-chimiques des eaux et son système aquifère défini par la géologie.

Les résultats affichent l'appauvrissement des eaux en chlorure à cause de la distance entre la zone côtière est très grand. Pour les cations, les éléments majeurs calcium, magnésium sont dominants. Ainsi, les eaux de la région sont les classes des eaux : calciques et calciques magnésiennes.

Pour tous les ions, les diagrammes démontrent l'existence des classes des eaux bicarbonatée calciques et bicarbonatée calciques magnésiennes. La majorité des eaux de la nappe est faiblement minéralisées. Les tests chimiques des eaux ont montré que les eaux sont dans l'ensemble potables et présentent des concentrations acceptables en ions, mais la plupart dépassant la norme de potabilité Malagasy.

Enfin, il est normal d'établir le faciès chimique et l'indice de contamination des eaux pendant la saison sèche et humide pour mieux comprendre la qualité des eaux dans cette Commune.

Ce projet de forage visera à l'ensemble des populations dans cette commune vers l'accès en eau potable en quantité et qualité suffisantes pour les générations actuelles et futures.

En perspective, le contrôle et le suivi de la qualité physico-chimique des eaux de la Commune sont nécessaires pour savoir l'évolution dans le temps. Une application de l'AquaChem2011.1 dans le District de Tsaratanana est envisagée.

BIBLIOGRAPHIE:

- [1]. **CROIX ROUGE FRANÇAISE** (Novembre 2009.)Eau, assainissement et hygiène
- [2].**REVUE, LA GAZETTE** (6 décembre 2006) ; culture et société
- [3].**RAONIMAHARIVO Ravosoa Rindra Mahiratra (2011)** Etudes Hydrogéologique et hydrochimique des eaux souterraines de la région SAVA (Nord-Est de Madagascar) Mémoire de fin d'études pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies Option: Génie Minéral ESPA Université d'Antananarivo
- [6]. **RANDRIAMITSIRY Tojonarindra Rémi (2017)** Contribution à l'étude hydrochimique et aux Qualités physico-chimiques et microbiologiques des eaux souterraines dans le bassin de Mandrare(Commune urbaine d'Amboasary-Sud) Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Chimie Parcours : Génie de l'Eau et de Génie de l'Environnement
- [7].**BERNARD LEGUBE** (2015) Production d'eau potable Filières et procédés de traitement DUNOD
- [8].**JAOTINA-NANDRASANA Théodore** (2013) Modelisation hydrogéologique et hydrochimique des aquifères de Bealanana-Befandriana-Mandrtsara, REGION SOFIA Mémoire pour l'obtention du DEA en Génie Minéral ESPA
- [9]. **HARIJOELINA Volaniaina (2016)** Contrôle qualité- analyses et essais de traitement des eaux de puits : cas du Fokontany d'Ambodihady AmbohimanaRina Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master Parcours : Ingénierie en Sciences et Techniques de l'Eau (I.S.T.E) Université d'Antananarivo
- [10]. **Rakoto Alson AO, Dromigny JA, Pfister P, Mauclère P (2001)** vibrio cholerae à Madagascar : étude d'une souche multirésistante Institut Pasteur de Madagascar
- [11].**CIEH** : manuel de formation des formateurs villageois.
- [12]. **Castany G. et Margat J., 1977.** Dictionnaire français d'hydrogéologie, Editions du BGRM, p127
- [13]. **Jackot R., 2012,** « Modélisation hydrogéologique du bassin versant de Menarandra avec le logiciel Rockworks 15 », Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de Mines, Ecole Supérieur Polytechnique d'Antananarivo
- [15]. Donnée Démographiques Milieu Rurale INSTAT RGPH-1975 et RGPH-1993
- [17].**Gibbs WJ, (1987)** : « Defining climate » Bulletin de l'Organisation Météorologique Mondiale Rapport technique présenté par le Groupe d'experts des changements climatiques du Comité exécutif de l'OMM. Bulletin de l'OMM,
- [18].**MONOGRAPHIE REGION BETSIBOKA (CREAM Février 2013)** (CENTRE DE RECHERCHES, D'ETUDES ET D'APPUI A L'ANALYSE ECONOMIQUE À MADAGASCAR) Monographie téléchargeable depuis <http://www.monographiemada.com>.
- [19]. **J. De Saint Curs (1951)** Travaux de bureau géologique Numéro 25. Notice explicative sur les feuilles TSARATANANA 409 et MAROVATO 410 Tananarive p.5
- [20].**TAHA-HOCINE DEBIECHE, (2002).** Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle, Application à la basse plaine de la Seybouse - Nord-Est Algérien. Thèse doctorat, Université de Franche-Comté
- [21]. **RAKOTONDRABE (2010)** Apport de l'hydrochimie dans l'études de vulnérabilité des ressources en eau de la plaine d'Antananarivo, Mémoire de Maîtrise, MSTGA Université d'Antananarivo

- [22]. **KHEDIDJA ABDELHAMID, (2016)**, Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de TADJNANT –CHELGHOUUM LAID et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines. Thèse doctorat, Université BATNA, Faculté de technologie département d'hydraulique.
- [23]. **GUYOT L., 2002**. Reconnaissance hydrogéologique pour l'alimentation en eau d'une plaine littorale en milieu semi-aride:Sud-Ouest de Madagascar. Thèse de doctorat. Faculté des sciences et techniques. Université de Nantes.
- [24]. **Oyebog, A.S., AkoAko, A. ElamboNkeng, G., CheoSuh, E. (2012)**. Hydrogeochemical characteristics of some Cameroon bottled waters, investigated by multivariate statistical analyses, Journal of Geochemical, Exploration.
- [25]. **IYAKARE J. de D. , TAUPIN J-D. , GHARIBI E., GHALIT M.** Origine, qualité chimique et vulnérabilité des eaux de sources et des eaux minérales commercialisées au Rwanda
- [26]. **Dege, N. (2011)**.Technology of Bottled Water, third Edition, Blackwell Publishing Ltd., Oxford.
- [27]. **Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J., Tchobanoglous, G.(2005)**. Water Treatment Principles and Design, 2nd ed. John Wiley, New York.
- [28]. **CHERIFI Hafsa (2017)**:Caractérisation, classification et statistique multivariable des eaux de l'aquifère alluvionnaire de la plaine de Sidi Bel Abbès. MEMOIRE Présenté pour l'obtention du diplôme de MASTER En : Hydraulique Spécialité : Technologies de Traitement des Eaux
- [30]. **NORDINE NOUAYTI et al, (2015)**. Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux souterraines des nappes du jurassique du haut bassin de ZIZ (Haut Atlas Central, Maroc)..
- [31].**RAMAHANDRISOA Magnova Francisque (2018)** Modélisation hydrogéologique et hydrochimiques des aquifères dans la région de SAVA Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur Polytechnicien Grade Master Titre : Ingénieur de Mines Parcours : Sciences et Techniques Minières
- [32]. **KHEDIDJA ABDELHAMID, (2016)**, Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de TADJNANT –CHELGHOUUM LAID et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines. Thèse doctorat, Université BATNA, faculté de technologie Département d'hydraulique.
- [33].**Directives De Qualité Pour L'eau De Boisson (2017)** Quatrième Édition Intégrant Le Premier Additif OMS
- ## WEBOGRAPHIES ou SITOGRAPHIES
- [4].: <http://www.site.sciences.fr/reponses/fr.LEXIQUE-sciences-Lexique-1-pollution+eauhtml>
- [5].<http://www.aquaportal.com/definition-6139-eau-de-surface.html> (05/11/18)
- [14].<http://www.population-sarobaratra-tsaratana.com> (05/02/19 à 11h)
- [16].http://www.capfida.mg/pi/www.capfida.mg/km/cosop/Rapports_regionaux/betsiboka.html
(01/02/2019 à 11h22) PROFILS DE PAUVRETE VILLAGEOIS ET ETUDE REGIONALE Analyse selon l'Approche des Moyens d'Existence Durable
- [29].<http://www.geowiki.fr> (10/03/19)

ANNEXES

Annexe1 : Norme de potabilité recommandée par l'OMS

Catégories	Caractéristiques	Symbol	Unités	Eaux souterraine
Caractères Physico-chimiques et organoleptiques	Température	T°	°C	7-25
	Couleur	Coul	U-Pt	0-20
	Turbidité	Tu	g/cm ³	0-20
	Goût, odeur		seuil	1-4
	Pouvoir colmatant	Po	L	0,01-1
	pH	pH		5,5-8
	Résistivité	R	K ₀ /cm	1-5
	Dissolution O ₂		mg/L	> ou = 5
Examen préliminaire	Minéralisation			
	Dureté total	TH	°f	0-60
	Alcalinité	TAC	°f	0-40
Signe de pollution	Matière Organique	MC	mg/L	0-3
	En milieu Alcalin			
	Azote ammoniacal	NH ₄	mg/L	0-1
	Azote nitreux	NO ₂	mg/L	0-0,5
Eléments toxiques Ou indésirables	CO ₂ agressif	CO ₂	mg/L	0-100
	Fluorures	N	mg/L	0-10
	Chlorures	Cl	mg/L	0-500
	Sulfates	SO ₄	mg/L	0-500
	Nitrates	NO ₃	mg/L	0-20
	Cyanures	CN	mg/L	0
	Chromates	CrO ₄	mg/L	0
	Chlores libres	Cl	mg/L	0
	Silices	SiO ₂	mg/L	0-80
	Phénols		mg/L	0
	Sodium	Na	mg/L	Liés à SO ₄ et Cl
	Potassium	K	mg/L	
Cations	Magnésium	Mg	mg/L	0-200
	Calcium	Ca	mg/L	0-200
	Fer	Fe	mg/L	0-10

	Cuivre	Cu	mg/L	0
	Zinc	Zn	mg/L	0
	Aluminium	Al	mg/L	0-5
	Plomb	Pb	mg/L	0
	Arsenic	As	mg/L	0
	Sélénium	Se	mg/L	traces
	Uranium	U	mg/L	traces
	Manganèse	Mn	mg/L	0-5
Qualité bactériologique	Coliformes totaux			10/100
	Coliformes fécaux			Absences dans 100mL

Source : Actes des journées de l'eau 16-20 Nov 1992 Qualité de l'eau

Annexe2 : Normes de potabilité Malagasy (Décret n°2004/635 du 15 juin 2004)

Paramètres organoleptiques	Normes	Unités internationales
Odeur	Inodore	
Couleur	Incolore	
Saveur désagréable	Absence	
Température	<25	°C
Turbidité	<5	NTU
Conductivité	<3000	µS. cm ⁻¹
Ph	Entre 6,5 et 9,0	
Paramètres chimiques	Valeurs admissibles	Unités internationales
Eléments normaux	Calcium	<200 mg. L ⁻¹
	Magnésium	<50 mg. L ⁻¹
	Chlorures	<250 mg. L ⁻¹
	Sulfates	<250 mg. L ⁻¹
	Oxygène dissous	>75 en % de saturation
	Dureté TH	<500 mg. L ⁻¹ en CaCO ₃
Eléments indésirables	Matières organiques	<2 en milieu alcalin <5 en milieu acide mg. L ⁻¹
	Ammonium	<0,5 mg. L ⁻¹
	Nitrites	<0,1 mg. L ⁻¹
	Nitrates	<50 mg. L ⁻¹
	Azote total	<2 mg. L ⁻¹
	Manganèse	<0,05 mg. L ⁻¹
	Fer total	<0,5 mg. L ⁻¹
	Phosphore	<5 mg. L ⁻¹
	Zinc	<5 mg. L ⁻¹
	Argent	<0,01 mg. L ⁻¹
	Cuivre	<1 mg. L ⁻¹
	Aluminium	<0,2 mg. L ⁻¹
	Fluore	<1,5 mg. L ⁻¹
	Baryum	<1 mg. L ⁻¹
	Arsenic	<0,05 mg. L ⁻¹

Eléments toxiques	Chrome total	<0,05	mg. L ⁻¹
	Cyanure	<0,05	mg. L ⁻¹
	Plomb	<0,05	mg. L ⁻¹
	Nickel	<0,05	mg. L ⁻¹
	Polychlorobiphényle (PCB)	0	
	Cadmium	<0,005	
	Mercure	<0,001	
Paramètres bactériologiques		Valeurs maximales admissibles	Unités internationales
Coliformes totaux		<1	Nombre /100mL
Streptocoques fécaux		<1	Nombre /100mL
Coliformes thermo-tolérants (<i>E. Coli</i>)		<1	Nombre /100mL
Clostridium sulfito-réducteurs		<2	Nombre /20mL

Annexe 3: Exemplaire des fiches d'analyses physico-chimiques de l'échantillon.

JIRO SY RANO MALAGASY
B.P. 200 - ANTANANARIVO

PROFORMA : 099

DIRECTION DE L'EXPLOITATION EAU
DEPARTEMENT QUALITE EAU
Tél. (261 20) 22 221 92

BULLETIN D'ANALYSE PHYSICO-CHIMIQUE N°1027 /10

PRELEVEMENT

Région : AMPASIMAZAVA
Centre :
Nature : Eau brute
Type d'échantillon : CGC N° TSR 604

ANALYSES

Paramètres	Examen au Laboratoire	V M A N.M.
Aspect	lumineux	lumineux
Odeur	absence	absence
Couleur		incolore
Température, en °C	20,9	25
Turbidité, en NTU	1,47	5
pH	6,66	6,5 - 9,0
Conductivité à 20%, en µs/cm	118	3000
Minéralisation, en mg/l	98	
MeS en mg/l		

Cations	mg/l	V M A N.M.
Calcium Ca ⁺⁺	14,00	
Magnésium Mg ⁺⁺	2,19	
Sodium Na ⁺	4,13	
Potassium K ⁺		12
Ammonium NH ₄ ⁺	0,08	0,5
Fer Fe ⁺⁺		0,5
Fer total Fe ^{++, Fe⁺⁺⁺}	0,02	0,5
Manganèse Mn ⁺⁺		0,05
Aluminium Al ⁺⁺⁺		0,2

Substances toxiques	mg/l	V M A
Arsenics totaux As		0,05
Cyanures totaux Cn		0,005
Chromes totaux Cr		0,05

Date de prélèvement : 8-sept-10
Date de réception : 8-sept-10
Préleur : C.G.C.
Date d'analyse : 10-sept-10
Usage : AEP

Paramètres	Valeur	V M A N.M.
Dureté TH en °F	4,40	50
TH Ca, en °F	3,50	
Alcalinité TA, en °F	0,00	
TAC, en °F	5,00	
Chlore résiduel en mg/l		
M.O. mg O ₂ /l (alcalin)	0,18	2
(Acide)		5

Anions	mg/l	V M A N.M.
Carbonates CO ₃ ⁺⁺	0,00	
Bicarbonates HCO ₃ ⁻	61,00	
Chlorures Cl ⁻	5,68	250
Sulfates SO ₄ ²⁻	4,43	250
Nitrites NO ₂ ⁻	0,10	0,1
Nitrates NO ₃ ⁻	0,67	50
Phosphate PO ₄ ³⁻		5
Fluorures F ⁻		1,5
Hydroxyde OH ⁻	0,00	

VMA : Valeur maximale admissible pour eau potable (N.M.)
M.O. : matières organiques (Oxydabilité au KMnO₄)

L. : légèrement

°F : degré Français

N.M. : Norme Malgache

OBSERVATIONS :

Eau conforme à la norme.

20 septembre 2010

Antananarivo, le
Le Chef de Laboratoire,

Annexe 4: Exemplaire des fiches d'analyse sur terrain

P.A.E.A.R. TABLEAU DE MESURES	ESSAI DE DEBIT SIMPLIFIE 2 PALIERS <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-end;"> Forage n° Code village n° TSR 04 </div>							
1. CARACTERISTIQUES DU FORAGE		DISTRICT : TSARATANANA			COMMUNE: SAROBARATRA			
					Opérateur: C.G.C	VILLAGE: Ampainimazava		
Profondeur "forée" (m):	DESCENTE Pompage de : 14 ^h 10 à 18 ^h 10							
Profondeur équipée (m):	35,75	Heure	Temps (min)	Débits Q			S/Q	Observations
Profondeur crépine	Longueur (m)			Niveau Dynamique(m)	Rabattement(m)	Temps (sec.)		
de 23,63 à 26,34	2,76	0	2,09	NS	36,00	1	1er palier	
de 24,23 à 34,75	5,52	1	2,74	1	37,05	0,97		
de _____ à _____		2						
Ouverture crépine: 1 mm		3	2,78	0,69	36,81	0,97	Temp. (°C) : -	
Débit fin soufflage:(m ³ /h)	> 10	5	2,74	0,65	37,05	0,97	C. (µS/cm) : 97,2	
		10	2,72	0,63	38,54	0,93	Turbidité eau : claire	
		15	2,74	0,65	38,85	0,93		
		20	2,74	0,65	37,94	0,94	pH : 7,13	
		40	2,77	0,68	39,10	0,91		
2. DONNEES DE L'ESSAI	(m/sol)	60	2,80	0,71	36,63	0,93		
Repère Sommet tubage PVC	m/rep	80	2,79	0,70	37,56	0,95		
Hauteur / sol :	0,40	100	2,75	0,74	38,56	0,93		
NS avant essai:	2,09	120	2,81	0,72	37,87	0,95		
Profondeur avant essai:	35,52	125	4,00	1,91	9,25	5,89	2 ème palier	
Profondeur après essai:	25,52	130	4,52	2,43	9,44	3,82		
NS après essai:	5,37	135	5,14	2,08	9,27	3,64		
Mesures de débit par bac jaugé	10	140	5,01	2,92	9,75	3,69		
Volume du bac :(litre)		145	5,33	3,24	9,57	3,76		
Pompe :		150	5,33	3,24	9,60	3,75		
Type et modèle:		160	5,34	3,25	9,50	3,95		
Prof. de la pompe (m):	2,8	170	5,34	2,25	8,86	4,20		
3. DEVELOPPEMENT DU FORAGE		180	5,28	3,19	9,16	3,93		
Date (AAAA-MM-JJ):	2010/08/16	190	5,32	3,23	9,25	3,89		
NS avant développement:	1,18	200	5,32	3,23	9,25	3,89		
Durée de l'Air Lift (H:MM)	4:00	220	5,34	3,25	8,59	4,49		
Débit fin développement: (m ³ /h)	> 10	240	5,37	3,28	8,25	4,11		
Pression de l'Air Lift:		250	5,37	3,28	8,25	4,11		
Turbidité de l'eau pendant Air Lift		260	5,37	3,28	8,25	4,11		
après 30 minutes :	Grave	270	5,37	3,28	8,25	4,11		
après 1 heure :	légère	280	5,37	3,28	8,25	4,11		
après 2 heures :	légère	290	5,37	3,28	8,25	4,11		
après 3 heures :	claire	300	5,37	3,28	8,25	4,11		
après 4 heures :	claire	310	5,37	3,28	8,25	4,11		
NS après développement (m):	10,53	320	5,37	3,28	8,25	4,11		
4. COMMENTAIRES		330	5,37	3,28	8,25	4,11		
		340	5,37	3,28	8,25	4,11		
		350	5,37	3,28	8,25	4,11		
		360	5,37	3,28	8,25	4,11		
		370	5,37	3,28	8,25	4,11		
		380	5,37	3,28	8,25	4,11		
		390	5,37	3,28	8,25	4,11		
		400	5,37	3,28	8,25	4,11		
		410	5,37	3,28	8,25	4,11		
		420	5,37	3,28	8,25	4,11		
		430	5,37	3,28	8,25	4,11		
		440	5,37	3,28	8,25	4,11		
		450	5,37	3,28	8,25	4,11		
		460	5,37	3,28	8,25	4,11		
		470	5,37	3,28	8,25	4,11		
		480	5,37	3,28	8,25	4,11		
		490	5,37	3,28	8,25	4,11		
		500	5,37	3,28	8,25	4,11		
		510	5,37	3,28	8,25	4,11		
		520	5,37	3,28	8,25	4,11		
		530	5,37	3,28	8,25	4,11		
		540	5,37	3,28	8,25	4,11		
		550	5,37	3,28	8,25	4,11		
		560	5,37	3,28	8,25	4,11		
		570	5,37	3,28	8,25	4,11		
		580	5,37	3,28	8,25	4,11		
		590	5,37	3,28	8,25	4,11		
		600	5,37	3,28	8,25	4,11		
		610	5,37	3,28	8,25	4,11		
		620	5,37	3,28	8,25	4,11		
		630	5,37	3,28	8,25	4,11		
		640	5,37	3,28	8,25	4,11		
		650	5,37	3,28	8,25	4,11		
		660	5,37	3,28	8,25	4,11		
		670	5,37	3,28	8,25	4,11		
		680	5,37	3,28	8,25	4,11		
		690	5,37	3,28	8,25	4,11		
		700	5,37	3,28	8,25	4,11		
		710	5,37	3,28	8,25	4,11		
		720	5,37	3,28	8,25	4,11		
		730	5,37	3,28	8,25	4,11		
		740	5,37	3,28	8,25	4,11		
		750	5,37	3,28	8,25	4,11		
		760	5,37	3,28	8,25	4,11		
		770	5,37	3,28	8,25	4,11		
		780	5,37	3,28	8,25	4,11		
		790	5,37	3,28	8,25	4,11		
		800	5,37	3,28	8,25	4,11		
		810	5,37	3,28	8,25	4,11		
		820	5,37	3,28	8,25	4,11		
		830	5,37	3,28	8,25	4,11		
		840	5,37	3,28	8,25	4,11		
		850	5,37	3,28	8,25	4,11		
		860	5,37	3,28	8,25	4,11		
		870	5,37	3,28	8,25	4,11		
		880	5,37	3,28	8,25	4,11		
		890	5,37	3,28	8,25	4,11		
		900	5,37	3,28	8,25	4,11		
		910	5,37	3,28	8,25	4,11		
		920	5,37	3,28	8,25	4,11		
		930	5,37	3,28	8,25	4,11		
		940	5,37	3,28	8,25	4,11		
		950	5,37	3,28	8,25	4,11		
		960	5,37	3,28	8,25	4,11		
		970	5,37	3,28	8,25	4,11		
		980	5,37	3,28	8,25	4,11		
		990	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1000	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1010	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1020	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1030	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1040	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1050	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1060	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1070	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1080	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1090	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1100	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1110	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1120	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1130	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1140	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1150	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1160	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1170	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1180	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1190	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1200	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1210	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1220	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1230	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1240	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1250	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1260	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1270	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1280	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1290	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1300	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1310	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1320	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1330	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1340	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1350	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1360	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1370	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1380	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1390	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1400	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1410	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1420	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1430	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1440	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1450	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1460	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1470	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1480	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1490	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1500	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1510	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1520	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1530	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1540	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1550	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1560	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1570	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1580	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1590	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1600	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1610	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1620	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1630	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1640	5,37	3,28	8,25	4,11		
		1650	5,37	3,28	8,25	4,11		

Annexe 5 : Etapes pour obtenir d'hypochlorite de sodium à partir de l'appareil Antenna-Wata (Electrolyseur de poche)

Matériels utilisés :

- Sel de cuisine
- Appareil Antenna-wata standard
- Récipient en verre (non conducteur)
- Batterie
- Chargeur de batterie 12V délivrant au moins 4A
- Bouteille opaque

L'antenna-Wata est un appareil électrolyseur de poche qui peut produire de 1 à 10 litres de solution de chlore actif d'où les processus à suivre sont :

- ✓ Prendre 1 litre d'eau claire en ajoutant 25g de NaCl (équivalent à 1 cuillère à soupe)
- ✓ Mélanger la solution pendant 5min pour que le sel soit dissous totalement
- ✓ Plonger l'appareil dans l'eau salée d'où l'appareil est complètement immergé mais la tige de connexion reste hors de l'eau ;
- ✓ Connecter la tige avec la source du courant
- ✓ Après quelque instant on voit des bulles apparaissent ;
- ✓ Laisser le processus pendant une heure
- ✓ Débrancher la source du courant puis déconnecter l'appareil
- ✓ Bien rincer l'appareil après chaque utilisation et ranger à l'abri de la lumière
- ✓ Finalement stocker la solution obtenue dans une bouteille opaque d'où l'on peut conserver pendant un mois.

Consignes : Eviter de travailler proche de lumière solaire

Manipuler dans un endroit bien ventilé, dans un endroit sombre et loin des flammes

Il est obligatoire de conserver la solution de chlore actif dans un endroit sombre loin de la lumière.

Source : ANTENNA TECHNOLOGY, SUISSE

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
LISTE DES TABLEAUX	iii
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES PHOTOS.....	v
GLOSSAIRE	vi
LISTE DES ABREVIATIONS ET DES ACRONYMES	vii
LISTE DES UNITES	viii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE 2	
I.1 Généralités sur l'eau	2
I.1.1 Cycle de l'eau	2
I.1.2 Différentes sources en eau	3
I.1.3 Propriétés de l'eau	4
I.1.4 Critère sur la qualité d'eau.....	4
I.1.5 Norme de potabilité de l'OMS et législation de l'Etat Malagasy : [9]	5
I.1.6 Forage d'eau	5
I.2 Hydrogéologie générale	6
I.2.1 Aquifères.....	6
I.2.2 Nappes	7
I.3 Présentation du projet	8
CHAPITRE II. MATERIELS ET METHODES 10	
II.1 Présentation de la zone d'étude	10
II.1.1 Situation géographiques et Administrative	10
II.1.2 Population et Situation démographiques	12
II.1.3 Climat de la zone d'étude	12
II.1.4 Relief	14
II.1.5 Hydrologie.....	14
II.1.6 Contexte Géologiques.....	14
II.1.7 Importance de l'eau potable dans cette région	15
II.2 Présentation du logiciel de traitement des données.....	15
II.2.1 Information générale sur le logiciel utilisé.....	15
II.2.2 Propriété du logiciel	16
II.3 Méthodologie.....	19
II.3.1 Présentation des données	19

II.3.1	Méthodes d'analyses sur terrain	19
II.3.1	Méthodes d'analyses au laboratoire	19
	 CHAPITRE III : RESULTATS, INTERPRETATIONS ET DISCUSSIONS	30
III.1	Comparaisons des résultats d'analyse physico-chimiques par rapport aux valeurs désirés :.....	30
III.1.1	Comparaison des résultats physiques par rapport à la Norme Malagasy	30
III.1.2	Comparaison des résultats chimiques par rapport à la norme.....	35
III.2	Classification des eaux.....	37
III.2.1	Classification selon la minéralisation	37
III.2.2	Classification suivant la dureté	38
III.2.3	Classifications des eaux selon la formule caractéristiques [28]:.....	39
III.2.4	Classification par faciès des eaux.....	39
III.3	Faciès chimiques des eaux en fonctions de la géologie	43
	 RECOMMANDATIONS	44
	 CONCLUSION.....	47
	 ANNEXES.....	I
	Annexe1 : Norme de potabilité recommandée par l'OMS	I
	Annexe2 : Normes de potabilité Malagasy (Décret n°2004/635 du 15 juin 2004)	III
	Annexe 3: Exemplaire des fiches d'analyses physico-chimiques de l'échantillon.....	V
	Annexe 4:Exemplaire des fiches d'analyse sur terrain	VI
	Annexe 5 : Etapes pour obtenir d'hypochlorite de sodium à partir de l'appareil Antenna-Wata (Electrolyseur de poche).....	VII

Domaine Sciences et Technologies
Mention : Procédés et Ecologie Industrielle
Parcours : Contrôle et Assurance Qualité

Titre : « Contrôle qualité et études hydrochimiques des eaux de forage dans la Commune Sarobaratra, District Tsaratanana »

Nom : ANDRIAMANJATO

Prénom : Naja Fanomezantsoa

Adresse : Lot 701 67 Ha CO

Contact: 034 61 704 51/033 45 187 20

E-mail :najaandriamanjato@gmail.com



Nombre de page : 50

Nombre des tableaux : 11

Nombre des figures : 19

Nombre des photos : 05

RESUME

L'eau est le principal constituant des êtres vivants, qui doivent en consommer tous les jours.

Sa qualité est délicate et doit répondre primordialement à une exigence de santé.

La commune Sarobaratra, District Tsaratanana a bénéficié le projet d'adduction en eau potable « 1250 forages d'eau ». Les résultats d'analyses au laboratoire des échantillons d'eau sont valorisés et ont fait l'objet d'une étude hydrochimique détaillée. L'aquifère de Sarobaratra est de nature sédimentaire : grès argileux, grès sableux, sables grossiers, sable moyen, dolomies calcaires parfois présents des roches cristallins.

Les eaux de la région sont très faiblement minéralisées et faiblement minéralisées. On constate que, cinq échantillons parmi les seize analysés physico-chimiques ne sont pas confondre à la norme de potabilité Malagasy. L'utilisation du logiciel "Aquachem2011.1" nous a permis d'identifier deux faciès chimiques d'où le faciès bicarbonaté calcique et le faciès bicarbonaté calcique et magnésien. Ces faciès dépendent de la minéralogie des roches traversées, lessivées et/ou encaissantes.

Les analyses des eaux montrent forte teneur en ion bicarbonate, mais la majorité reste potable.

Mots clés :Sarobaratra, forages d'eau, aquifères, hydrochimiques, norme, Aquachem2011.1, faciès.

ABSTRACT

Water is the main constituent of living beings, which must consume them every day. Its quality is delicate and must respond to a health requirement. The Sarobaratra Commune District of Tsaratanana benefited from the proposed drinking water supply “1250 drilling water”. The result analyses at laboratory of the water are developed and were the subject of a detailed hydrochemical study. The aquifer of the Sarobaratra is sedimentary in nature: clayey sandstone, sandy sandstone, coarse sands, medium sand, calcareous dolomites sometimes present crystalline rocks.

The waters of the region are very weakly mineralized and weakly mineralized.

Five among the sixteen samples analyzed physicochemical did not comply with the malagasy potability standard. The use of the “Aquachem2011.1” software allowed us to identify two chemical facies from which the calcium bicarbonate facies and the calcium and magnesium bicarbonate facies. These facies depend on the mineralogy of the crossed, leached and / or hosted rocks.

Water analyzes show high content of bicarbonate ion, but the majority remains drinkable.

Keys words:Sarobaratra, drilling water, aquifer, hydrochemical, standard, Aquachem2011.1,faciès.

Encadreur : Madame RAHARIMALALA Laurence

Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo