



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

MENTION : GÉNIE GÉOLOGIQUE

PARCOURS : GEOLOGIE MINIERE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU

DIPLOME DE MASTER D'INGENIERIE

TITRE : INGENIEUR GEOLOGUE



ETUDE DE PREFAISABILITE TECHNIQUE DU PROJET D'ADDUCTION D'EAU
POTABLE PAR POMPAGE ET DE DESALINISATION AU FOKONTANY D'AMBOLA
DANS LA COMMUNE RURALE D'EFOETSY, ZONE COTIERE DU DISTRICT DE TOLIARA I

Présenté par : RAKOTOZAFY Heriniaina Victor

Date de soutenance : Vendredi 05 Mai 2017

Promotion 2015



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

ECOLE SUPERIEURE POLYTECHNIQUE

MENTION : GÉNIE GÉOLOGIQUE

PARCOURS : GEOLOGIE MINIERE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU

DIPLOME DE MASTER D'INGENIERIE

TITRE : INGENIEUR GEOLOGUE



ETUDE DE PREFAISABILITE TECHNIQUE DU PROJET D'ADDUCTION D'EAU
POTABLE PAR POMPAGE ET DE DESALINISATION AU FOKONTANY D'AMBOLA
DANS LA COMMUNE RURALE D'EFOETSY, ZONE COTIERE DU DISTRICT DE TOLIARA II

Présenté par : RAKOTOZAFY Heriniaina Victor

Devant les membres de Jury composé de :

Président du jury : Mr MANDIMBIHARISON Aurélien Jacque

Encadreur pédagogique : Mr ZOKIMILA Niainarivony Pierre

Encadreur professionnel : Mr HAMELO Solphi Joli

Examineurs : Mme RAVELONANDRO Vonifanjanirina Marie Georgina

Mr RANDRIAMIHARIVELO Philibert Daniel

Mr RAKOTOARIVONIZAKA Ygnace

Promotion 2015



REMERCIEMENTS

Que la grâce soit rendue à Dieu de m'avoir donné le courage, la volonté et la santé durant les années d'étude à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et durant la réalisation de ce mémoire. Ainsi, j'adresse mes plus vifs remerciements aux éminentes personnalités qui ont contribué à l'élaboration et à la réalisation de ce mémoire, à savoir :

- ❖ Monsieur ANDRIANAHARISON Yvon, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui a donné l'autorisation de présenter ce mémoire ;
- ❖ Monsieur MANDIMBIHARISON Aurélien Jacque, Chef de Département Géologie, à travers lui, je remercie tous les Enseignants Département Géologie,
- ❖ Monsieur ZOKIMILA Niainarivony Pierre, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Géologie.
- ❖ Monsieur HAMELO Solphi Joli, Directeur Général Technique du Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène.
- ❖ Monsieur TOVONDRAINNY Gaëtan Rovestin, Chef de projet de l'entreprise WWF de Toliara.
- ❖ Madame RAVELONANDRO Vonifanjanirina Marie Georgina, enseignante à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Géologie.
- ❖ Monsieur RANDRIAMIHARIVELO Philibert Daniel, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Géologie.
- ❖ Monsieur RAKOTOARIVONIZAKA Ygnace, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Génie Chimique.

Ma profonde reconnaissance s'adresse aussi plus particulièrement aux personnes suivantes, sans qui ce travail n'aurait pu aboutir à terme : ma femme et mes enfants, mes parents et toute ma famille qui m'ont soutenu durant toutes les années d'études. En outre, j'adresse mes remerciements à mes amis qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.



SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vii
Liste des annexes.....	ix
Liste des abréviations.....	x
Glossaire.....	xi
INTRODUCTION.....	1

Première partie: Généralité sur la zone d'étude et méthodologie

I.1. Généralité sur la zone d'étude.....	4
I.1.1. Localisation géographique et accessibilités	4
I.1.2. Topographie du terrain.....	6
I.1.3. Contexte hydrogéologique et géologique	6
I.1.4. Infrastructures sociales.....	9
I.2. Démarches pour l'élaboration du projet de mémoire	11
I.2.1. Travaux de documentation bibliographique	11
I.2.2. Etude sur terrain	11
I.2.3. Analyses en laboratoire.....	25

Deuxième partie: Présentation des résultats et interprétations

II.1. Résultats des analyses de la qualité de l'eau	36
II.1.1. Paramètres organoleptiques.....	36
II.1.2. Paramètres physiques	37
II.1.3. Résultats d'analyse physico-chimique (DEXO).....	42
II.1.4. Bulletin d'analyse bactériologique (DEXO)	50
II.2. Résultat des enquêtes sur terrain	53



II.2.1. Résultats des enquêtes sur les maladies d'origine hydrique.....	54
II.2.2. Résultats des enquêtes sur l'évaluation du besoin en eau	56
II.2.3. Résultat de l'évaluation du prix d'achat d'eau	58
II.3. Résultats des études de reconnaissance hydrogéologique	59
II.3.1. Résultats de la récupération des cutting par forage	59
II.3.2. Résultats du rainurage des puits traditionnels	61
II.3.3. Résultats de l'évaluation du débit théorique.....	64
<u>Troisième partie: Discussion et propositions</u>	
III.1. Discussion	66
III.1.1. Discussion sur les méthodes.....	66
III.1.2. Discussion sur les différents résultats	67
III.2. Proposition du système de traitement par désalinisation	70
III.2.1. Définition et principe de désalinisation.....	70
III.2.2. Trunz Brackish Box 003 ou TBB 003.....	74
III.3. Conception et installation du système AEPP avec l'unité de désalinisation.....	76
III.3.1. Analyse de l'adéquation ressource et besoin.....	76
III.3.2. Dimensionnement des ouvrages AEPP avec la TBB 003	77
III.3.3. Estimation du coût du projet	86
III.4. Aspect environnementale du projet.....	89
III.4.1. Analyse des impacts spécifiques	89
III.4.2. Mesures d'atténuations.....	93
CONCLUSION GENERALE	95
BIBLIOGRAPHIE	96
WEBOGRAPHIE.....	97



Liste des figures

<i>Figure 1: Commune Efoetsy</i>	5
<i>Figure 2: Voie maritime (bac FIAVOTA)</i>	6
<i>Figure 3: Voie routière (piste en sable)</i>	6
<i>Figure 4: Relief de la zone d'étude</i>	7
<i>Figure 5: Profil topographique suivant le trait de coupe A-B</i>	7
<i>Figure 6: Carte géologique de la zone</i>	9
<i>Figure 7: Infrastructures sociales de la zone d'étude</i>	10
<i>Figure 8: GPS</i>	12
<i>Figure 9: Sonde de niveau</i>	12
<i>Figure 10: Conductimètre</i>	12
<i>Figure 11: Outil de prélèvement</i>	12
<i>Figure 12: Inventaire des points d'eau dans le Fokontany d'Ambola</i>	13
<i>Figure 13: Disposition des puits et forages dans le Fokontany d'Ambola</i>	23
<i>Figure 14: Spectrophotomètre</i>	27
<i>Figure 15: pH mètre CG 818</i>	27
<i>Figure 16: Turbidimètre 2100P</i>	27
<i>Figure 17: Plaquette Fe pour 0,3 à 5 mg/l</i>	27
<i>Figure 18: Multi-filtre avec entonnoir réservoir</i>	29
<i>Figure 19: Filtre et membrane filtrante</i>	29
<i>Figure 20: Entonnoir rempli d'eau avec membrane filtrante</i>	30
<i>Figure 21: Placement de la membrane dans la boîte de PETRI</i>	30
<i>Figure 22: Milieu de culture pour les coliformes totaux</i>	31
<i>Figure 23: Milieu de culture pour les Escherichia coli</i>	31
<i>Figure 24: Milieu de culture pour les streptocoques fécaux</i>	31
<i>Figure 25: milieu de culture pour les bactéries anaérobies sulfito-réducteurs</i>	32



<i>Figure 26: Variation moyenne mensuelle de T et ETR</i>	40
<i>Figure 27: Variation moyenne journalière de T et la salinité</i>	40
<i>Figure 28: Mouvement du biseau salé sous l'effet de pompage</i>	49
<i>Figure 29: Etat d'équilibre du biseau salé en zone littorale</i>	49
<i>Figure 30: Germes indice de coliformes totaux</i>	51
<i>Figure 31: Germe indice de l'Escherichia coli</i>	51
<i>Figure 32: Germe indice de Streptocoques fécaux</i>	52
<i>Figure 33: Germe indice d'ASR</i>	52
<i>Figure 34: Entretien avec les villageois d'Ambola</i>	53
<i>Figure 35: LOG représentatif du forage P1</i>	59
<i>Figure 36: LOG représentatif du forage P4</i>	60
<i>Figure 37: LOG représentatif du puits traditionnel P2</i>	61
<i>Figure 38: LOG représentatif du puits traditionnel P3</i>	62
<i>Figure 39: Expérience sur le phénomène de diffusion</i>	71
<i>Figure 40: Expérimentation du principe d'osmose inverse</i>	74
<i>Figure 41: Schéma simplifié des éléments constitutifs d'un AEPP avec désalinisation</i>	77
<i>Figure 42: Ouvrage de captage</i>	79
<i>Figure 43: Schéma simplifié des phases de traitement de la TBB 003</i>	82
<i>Figure 44: Pompe immergée et boîtier de commande</i>	84
<i>Figure 45: Module solaire photovoltaïque, 12V 450W</i>	85
<i>Figure 46: Plan de masse du projet</i>	I
<i>Figure 47: Coupe géologique de la zone d'étude suivant un trait de coupe A-B de direction Est-Ouest</i>	IX
<i>Figure 48: TRUNZ BRACKISH BOX 003</i>	X
<i>Figure 49: Moniteur de la TBB 003</i>	X
<i>Figure 50: Tableau d'affichage de l'opérateur</i>	X



<i>Figure 51: Circuits de commande.....</i>	<i>X</i>
<i>Figure 52: Filtre 5µm et réservoir du Back flush.....</i>	<i>X</i>
<i>Figure 53: Filtre à charbon actif et module spirale</i>	<i>X</i>
<i>Figure 54: Filtre 100 µm et deux filtres 25 µm</i>	<i>X</i>
<i>Figure 55: Batteries de 24 V 100 Ah.....</i>	<i>X</i>
<i>Figure 56: Deux vaisseaux de pression</i>	<i>X</i>



Liste des tableaux

<i>Tableau 1: Inventaire des points d'eau dans le Fokontany d'Ambola</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 2: Caractéristiques du prélèvement d'échantillon d'eau.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 3: Horaire et date du prélèvement</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 4: Enquête sur les maladies d'origine hydrique.....</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 5: Caractéristiques des deux forages réalisés</i>	<i>23</i>
<i>Tableau 6: Tableau d'Authossère.....</i>	<i>24</i>
<i>Tableau 7: Analyse en laboratoire DEXO</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 8: Type de germe et caractéristiques des trois milieux de cultures</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 9: Type et caractéristique du milieu de culture en tube.....</i>	<i>32</i>
<i>Tableau 10: Paramètres organoleptiques.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 11: Paramètres physiques du puits traditionnel P3.....</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 12: Paramètres physiques du puits busé P4</i>	<i>37</i>
<i>Tableau 13: Moyenne des paramètres physiques de P3</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 14: Moyenne des paramètres physiques de P4</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 15: Température moyenne mensuelle de Toliara de 1996 à 2007.....</i>	<i>38</i>
<i>Tableau 16: Evapotranspiration moyenne mensuelle de Toliara de 1996 à 2007</i>	<i>39</i>
<i>Tableau 17: Bulletin d'analyse physico-chimique (DEXO).....</i>	<i>42</i>
<i>Tableau 18: Tableau de correspondance des sels dissoute par rapport à TA et TAC.....</i>	<i>45</i>
<i>Tableau 19: Bulletin d'analyse bactériologique de l'eau souterraine d'Ambola.....</i>	<i>53</i>
<i>Tableau 20: Caractéristiques des ménages enquêtés</i>	<i>54</i>
<i>Tableau 21: Maladies les plus fréquents.....</i>	<i>54</i>
<i>Tableau 22: Vulnérabilité des victimes</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 23: Maladies d'origine hydrique et nombre de victime au niveau du CSB II.....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 24: Accroissement annuel de la population dans le Fokontany d'Ambola</i>	<i>56</i>
<i>Tableau 25: Evaluation du besoin spécifique et mode d'usage d'eau.....</i>	<i>57</i>



<i>Tableau 26: Besoins en eau potable de la population</i>	<i>57</i>
<i>Tableau 27: Etude du besoin en eau par tranche d'heure</i>	<i>58</i>
<i>Tableau 28: Prix de vente d'eau par les vendeurs (Ar/bidon).....</i>	<i>58</i>
<i>Tableau 29: Capacité de payer l'eau</i>	<i>58</i>
<i>Tableau 30: Caractéristique de P1</i>	<i>60</i>
<i>Tableau 31: Caractéristique de P4</i>	<i>61</i>
<i>Tableau 32: Caractéristique de P2</i>	<i>61</i>
<i>Tableau 33: Caractéristique de P3</i>	<i>62</i>
<i>Tableau 34: Caractéristiques hydrodynamiques du forage P1 par la méthode Authossère ...</i>	<i>64</i>
<i>Tableau 35: Différentes techniques de désalinisation</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 36: Adéquation des ressources et besoin de la population d'Ambola.....</i>	<i>77</i>
<i>Tableau 37: Tableau de proportionnalité pour une installation solaire</i>	<i>86</i>
<i>Tableau 38: Estimation du coût des travaux.....</i>	<i>86</i>
<i>Tableau 39: Recettes estimées pour le projet.....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau 40: Cout de maintenance et renouvellement des matériels.....</i>	<i>88</i>
<i>Tableau 41: Charge des personnels de l'unité de désalinisation.....</i>	<i>89</i>
<i>Tableau 42: Tableau montrant l'analyse des impacts pendant la phase d'étude.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau 43: Tableau montrant l'analyse des impacts pendant la phase de construction.....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau 44: Tableau montrant l'analyse des impacts pendant la phase d'exploitation</i>	<i>93</i>
<i>Tableau 45: Tableau montrant les mesures d'atténuations proposées</i>	<i>93</i>
<i>Tableau 46: Caractéristique des matériels électriques.....</i>	<i>V</i>
<i>Tableau 47: Principales nappes résultant des campagnes de forage dans la région.....</i>	<i>VIII</i>
<i>Tableau 48: Fiche caractéristique de la TBB 003</i>	<i>X</i>
<i>Tableau 49: Critères de qualification des variantes pour l'alimentation électrique</i>	<i>X</i>



Liste des annexes

<i>Annexe 1 : Plan de masse, et dimensionnement des ouvrages.....</i>	<i>I</i>
<i>Annexe 2 : Calcul du débit par la méthode Authossère.....</i>	<i>IV</i>
<i>Annexe 3 : Dimensionnement du panneau solaire.....</i>	<i>V</i>
<i>Annexe 4 : Dimensionnement des réservoirs.....</i>	<i>VI</i>
<i>Annexe 5 : Dimensionnement de la borne fontaine.....</i>	<i>VII</i>
<i>Annexe 6 : Principales nappes résultant des campagnes de forage dans la région</i>	<i>VIII</i>
<i>Annexe 7 : Coupe géologique de la zone d'étude suivant un trait de coupe A-B.....</i>	<i>IX</i>
<i>Annexe 8 : Photos et Fiche caractéristique de la TBB 003.....</i>	<i>X</i>
<i>Annexe 9 : Photos des principaux éléments constituant de la TBB 003.....</i>	<i>XI</i>
<i>Annexe 10 : Critère de qualification des variantes pour l'alimentation électrique.....</i>	<i>XII</i>



Liste des abréviations

<i>AEP</i>	<i>Adduction d'Eau Potable</i>
<i>AEPP</i>	<i>Adduction d'Eau Potable par Pompage</i>
<i>BF</i>	<i>Borne-fontaine</i>
<i>BRGM</i>	<i>Bureau de Recherches Géologiques et Minières</i>
<i>CSB II</i>	<i>Centre de Santé de Base Niveau II</i>
<i>DAL</i>	<i>Défécation à l'Air Libre</i>
<i>°C</i>	<i>Degré Celsius</i>
<i>DGM</i>	<i>Direction Générale de la Météorologie</i>
<i>ETP</i>	<i>Evapotranspiration Potentielle</i>
<i>ETR</i>	<i>Evapotranspiration Réelle</i>
<i>FTM</i>	<i>Foibe Taosaritanin'i Madagasikara</i>
<i>fft</i>	<i>Forfaitaire</i>
<i>GIRE</i>	<i>Gestion Intégrée des Ressources en Eau</i>
<i>GPS</i>	<i>Global Positioning System</i>
<i>INSTAT</i>	<i>Institut National de la Statistique Malgache</i>
<i>NM</i>	<i>Norme Malagasy</i>
<i>OI</i>	<i>Osmose Inverse</i>
<i>PVC</i>	<i>Polychlorure de Vinyle</i>
<i>PEHD</i>	<i>Poly Ethylène à Haute Densité</i>
<i>PH</i>	<i>Potentiel de l'Hydrogène</i>
<i>PU</i>	<i>Prix Unitaire</i>
<i>TBB</i>	<i>Tranz Brackish Box</i>
<i>TTC</i>	<i>Toutes Taxes Comprises</i>
<i>TVA</i>	<i>Taxes sur les Valeurs Ajoutées</i>
<i>VMA</i>	<i>Valeur Maximale Admissible</i>
<i>WWF</i>	<i>World Wide Fund for Nature</i>



Glossaire

- ❖ **Eau potable** : Une eau est dite potable quand elle remplit un certain nombre de critères la rendant propre et sans risque de maladie pour la consommation humaine. Par traitement de purification elle doit répondre aux normes de potabilité.
- ❖ **Adduction d'eau** : Elle regroupe les techniques permettant d'amener l'eau depuis sa source à travers un réseau de conduites ou d'ouvrages architecturaux vers les lieux de consommation.
- ❖ **AEPP** : une adduction d'eau potable par pompage est le captage d'eau souterraine par une pompe électrique ou manuel pour être refoulé en surface jusqu'à l'utilisation.
- ❖ **Système d'AEP** : C'est l'ensemble des installations et infrastructures destinées à fournir l'eau potable sur une zone cible. Un système d'AEP conforme à la norme doit contenir les ouvrages suivants, captage, traitement, distribution.
- ❖ **Osmose** : L'osmose est un phénomène de diffusion de la matière, c'est-à-dire, elle désigne la tendance naturelle d'un système à rendre homogènes les concentrations des espèces chimiques en son sein. C'est un phénomène de transport irréversible qui se traduit par la migration d'espèces chimiques dans un milieu.
- ❖ **Osmose inverse** : L'Osmose inverse est une technique membranaire qui repose sur une ultrafiltration sous pression au travers de membranes dont les pores sont des trous si petits que même les sels sont retenus.
- ❖ **Désalinisation** : La désalinisation est un traitement qui consiste à séparer l'eau et les sels dissouts par le procédé d'osmose inverse.
- ❖ **Pression osmotique** : La pression osmotique se définit comme la pression minimum qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution moins concentrée vers une solution plus concentrée au travers d'une membrane semi-perméable.
- ❖ **Membrane semi-perméable** : Dit aussi une membrane hémiperméable, est une membrane ne laissant passer que le solvant en général l'eau, et pas les solutés ou substances dissoutes. Cette propriété produit le phénomène d'osmose.



INTRODUCTION

L'eau est l'un des éléments primordiaux qui assurent la vie et les activités humaines. Ses impacts dans le développement de l'environnement ne sont pas négligeables, sachant qu'elle représente 1380 millions de km³ dont 97,2 % sont constitués d'eau de mer et 2,15 % de glace inutilisable dans l'immédiat. En revanche, l'eau douce, facilement disponible (lacs, fleuves, certaines eaux souterraines), ne représente que 0,07 % de la ressource totale soit environ un million de km³ [BRGM, 2011]. Mais la répartition de cette eau est très inégale. En effet, seulement dix pays se partagent 60 % des réserves d'eau douce, tandis que vingt-neuf autres pays, principalement situés en Afrique et au Moyen-Orient, sont au contraire confrontés à une pénurie chronique d'eau douce. On estime que 2,5 milliards de personnes pourraient souffrir du manque d'eau en 2050 compte tenu de l'évolution de la démographie et de l'augmentation des consommations d'eau [BRGM ; 2011].

Actuellement, Madagascar est aussi concerné par ce problème car l'approvisionnement en eau de plusieurs régions est encore insuffisant et médiocre. Parmi eux, nous pouvons citer la région Sud-Ouest, notamment, le district de Toliara II dans la Commune rurale d'Efoetsy qui présente un caractéristique climatologique de type semi-aride, chaud et sec avec une précipitation moyenne de 530 mm par an [Battistini, 1964]. En effet, les eaux de surface sont asséchées rapidement par évaporation. De plus, ces nappes d'eau souterraine sont soumises à l'influence marine par contamination saline, ce qui rend l'accès à l'eau potable difficile et cher. Par conséquent, la majorité de la population n'a accès qu'à de l'eau salée et dans des conditions hygiéniques précaires, ce qui explique la propagation des maladies d'origine hydrique qui atteignent surtout les personnes vulnérables (enfants et seniors). Par leur ampleur, cette déficience en eau potable ainsi que ses impacts sur la santé constituent un danger pour la communauté.

En nous penchant sur l'importance du problème relatif à notre sujet qui porte sur l' « **Etude de pré faisabilité technique du projet d'adduction d'eau potable par pompage et désalinisation au Fokontany d'Ambola dans la Commune rurale d'Efoetsy, zone côtière du district de Toliara II** », une connaissance plus approfondie des origines de l'insuffisance d'eau potable est cruciale. Pour cela, nous devons déterminer quelles en sont les raisons ? En réponse à cette problématique, nous allons soulever plusieurs hypothèses à vérifier au cours du travail de recherche : les causes de la déficience hydrique peuvent être liées à la situation géologique et hydrogéologique de la région, ainsi qu'au type de climat. L'insuffisance des nouvelles infrastructures destinées à fournir l'eau potable peut aussi être à



l'origine du problème, mais le type de comportements de la population locale en matière d'assainissement et d'hygiène n'est pas non plus à exclure.

Pour remédier à ce fléau, de nouvelles infrastructures et techniques de production d'eau potable plus adaptées devront être mises en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Pour le Fokontany d'Ambola qui est particulièrement littorale, l'une des techniques les plus appropriées est le recours à un système de pompage suivie de désalinisation des eaux saumâtres. C'est une technique assez courante, mais compte tenu de la capacité de production d'eau potable, le système élimine le sel à 99,9 % et toutes les impuretés sans ajout de produits chimiques [09]. C'est un système très pratique et bien qualifié qui peut s'adapter à diverses conditions dans la région.

A juste titre, WWF a financé le projet communautaire : **Solar-powered clean water in South-western Madagascar phase II, de 2015 à 2017**, qui consiste à planifier l'installation d'un système d'adduction d'eau potable et d'une station de désalinisation au Fokontany d'Ambola dans la Commune rurale d'Efoetsy et District Toliary II.

L'objectif que nous nous sommes fixés dans le cadre du présent mémoire est d'étudier :

- L'évaluation de la qualité de l'eau ainsi que les maladies d'origine hydrique, puis, l'origine de la pollution des eaux dans le Fokontany d'intervention.
- L'évaluation des caractéristiques hydrodynamiques des nappes d'eau souterraines de la zone d'étude ainsi que les besoins en eau de la population.
- La conception et l'installation des ouvrages de captage par forage ainsi que le bâtiment d'abris de l'installation.

L'étude se divise en TROIS GRANDES PARTIES :

- La première partie expose la méthodologie et généralité sur la zone d'étude ;
- La deuxième partie présente les résultats et leurs interprétations ;
- La troisième partie est consacrée à la discussion sur les résultats de recherche et à l'avancement de propositions pertinentes.

Première partie

GENERALITE SUR LA ZONE D'ETUDE ET METHODOLOGIE



I.1. Généralité sur la zone d'étude

I.1.1. Localisation géographique et accessibilités

I.1.1.1. Région Atsimo-Andrefana

La région Atsimo-Andrefana est située dans la partie Sud-Ouest de Madagascar. Elle se trouve dans l'ex-Province autonome de Toliara entre 21°66' et 24°72' de latitude Sud et 43°47' et 45°47' de longitude Est. Elle est constituée de neuf (9) Districts à savoir : Beroroha, Morombe, Ankazoabo-Atsimo, Toliara II, Toliara I, Sakaraha, Betioky-Atsimo, Benenitra, et Ampanihy. la Région dispose d'une superficie de plus de 66 418 km², soit 11,36% par rapport à l'ensemble du pays, avec une densité moyenne de 24,63 habitants au km². Suivant la Route Nationale numéro 7, la région Atsimo-Andrefana se situe environ à 945 km de la capitale de Madagascar.

I.1.1.2. District de Toliara II

Le district de Toliara II est délimité au Nord par le district de Morombe, au Sud par le district de betioky-atsimo, à l'Est par Sakaraha. La partie Ouest est limitée par le Canal de Mozambique. Le district Toliara II est composé de vingt-quatre (24) Communes selon le DECRET n° 2015 – 592 portant classement des Communes en Communes urbaines ou en Communes rurales.

I.1.1.3. Commune rurale Efoetsy

La Commune rurale d'Efoetsy est composée de sept (7) Fokontany à savoir : Efoetsy, Maromitiliky, Manasy, Behazomby, Ambola, Maintelime, et Marompijery. Le Fokontany d'Ambola est situé le plus proche de la mer et présenté par la figure 1.

I.1.1.4. Accessibilité

Le Fokontany d'Ambola se situe à environ 90 km au Sud du chef-lieu de la Région Atsimo-Andrefana en longeant le littorale. Pour y accéder, nous avons suivie l'itinéraire suivant. D'abord, nous avons traversé une piste en terre terrassée qui mesure 37 km partant de Toliara jusqu'au Saint Augustin, ensuite navigué par le Bac Fiavota en passant par l'embouchure du fleuve Onilahy d'environ 40 minutes pour rejoindre le port de Soalara (figure 2). En fin, une piste en sable mesurant 60 Km à partir de Soalara jusqu' à Ambola (figure 3).

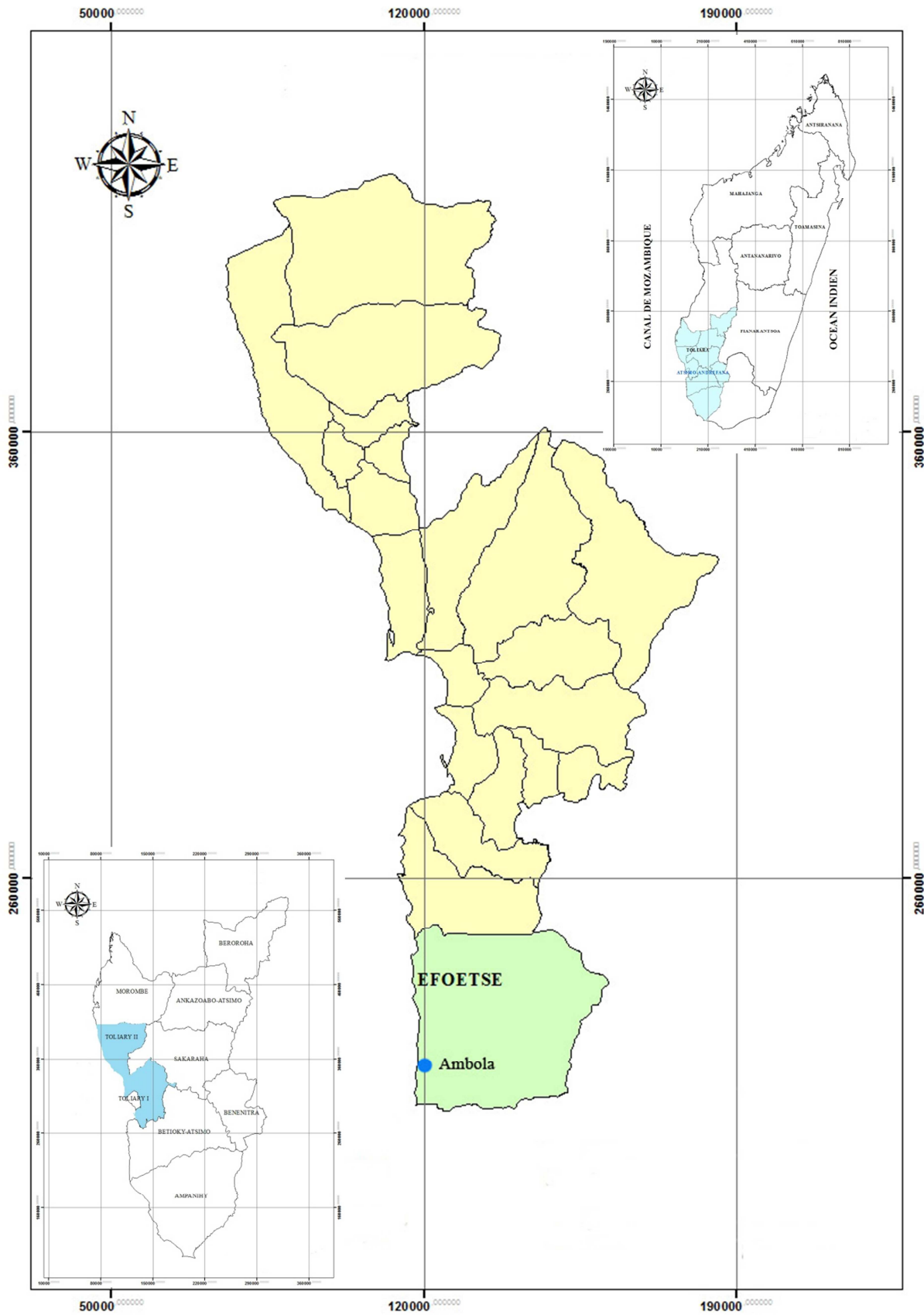





Figure 1: Commune Efoetsy

Source : BD 100

-  Fokotany d'Ambola
-  Commune Efoetse
-  District de Toliara II

0 15 000 30 000 60 000 Meters



Figure 2: Voie maritime (bac FIAVOTA)

Source : Auteur, 2015



Figure 3: Voie routière (piste en sable)

Source : Auteur, 2015

I.1.2. Topographie du terrain

Le relief de la zone d'étude est caractérisé en général par une large plaine côtière issue d'une extension entre la faille de Toliara au Nord-Est et les formations dunaires au Sud-Ouest du côté de la mer. Selon un trait de coupe A-B qui est présenté par la figure 4 suivante, de direction Ouest-Est, traitée par le logiciel ArcGis sur la base des données MNT ou Model Numérique de Terrain, on constate que l'altitude moyenne de la bande côtière est relativement faible. Elle varie de 5 à 15 mètres jusqu'au rive du lac Tsimanapetsotsa au pied de la faille de Toliara puis, tend à s'élever jusqu'au sommet de cette dernière à une altitude de 40 mètres pour atteindre le plateau calcaire Mahafaly. La figure 5 présente le profil topographique de la région.

I.1.3. Contexte hydrogéologique et géologique

Plusieurs études ont déjà été effectuées par le passé dans la région, parmi lesquelles des inventaires détaillés en vue de la caractérisation de l'hydrogéologie du plateau Mahafaly et de la plaine côtière, tel que des campagnes de forages. La synthèse de ces différents travaux et des avis recueillis sur terrain permettent d'obtenir des pistes à la recherche d'aquifères productifs. La zone d'étude concernée est localisée dans la zone 40 (bassin sédimentaire de Toliara) selon le découpage des huit zones hydrogéologiques de Madagascar [05]. Les différentes nappes de ce découpage sont présentées en Annexe 6.

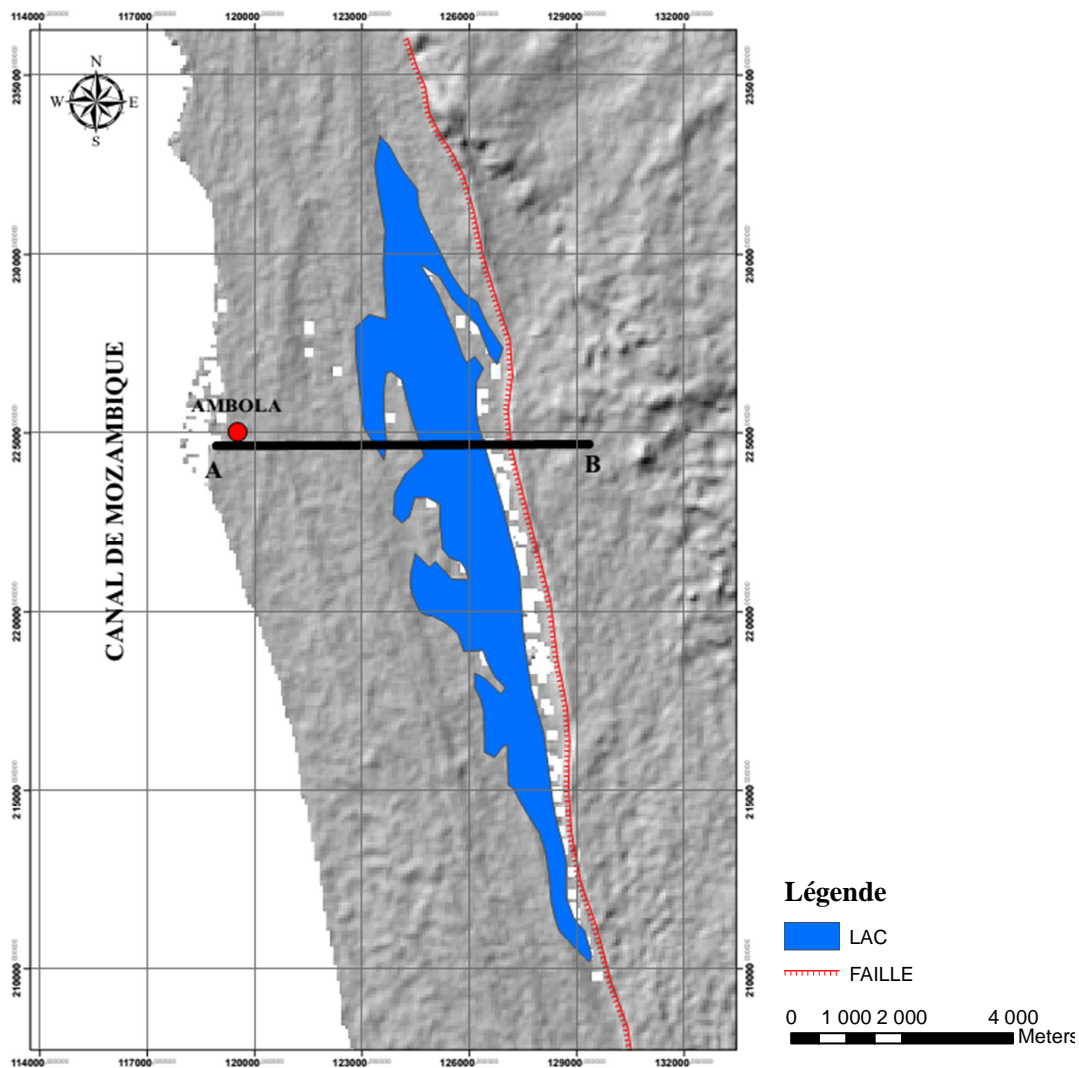


Figure 4: Relief de la zone d'étude

Source : BD 100

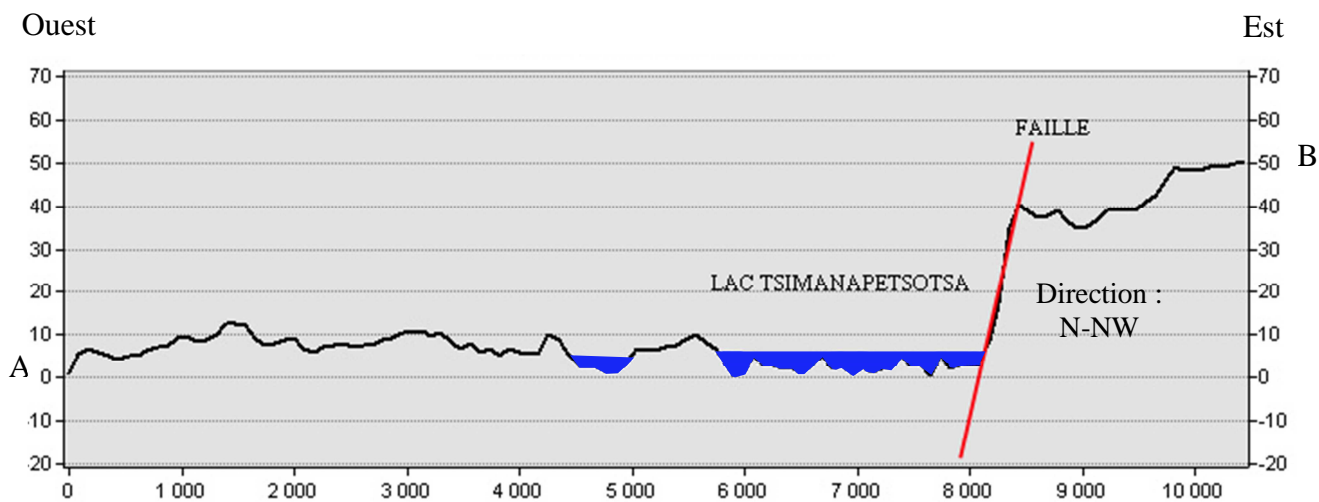


Figure 5: Profil topographique suivant le trait de coupe A-B

Source : Auteur, 2015

$$E = \frac{1}{100\,000}$$



La région Atsimo-Andrefana fait partie du bassin de Morondava. Ce bassin est le plus grand bassin sédimentaire de l'île, s'étendant sur plus de 1.000 km le long de la côte Ouest, du centre Ouest jusqu'à l'extrême Sud de l'île et présente une succession de couches faiblement inclinées et d'autant moins qu'on s'éloigne davantage du socle cristallin. Les pendages des couches varient de 20 à 30°, au contact du socle pour atteindre moins de 1° près du canal de Mozambique [07].

Ce bassin comporte trois grandes unités structurales disposées en gradins superposés. La figure 6, suivante présente ces différentes unités structurales qui sont :

- Une partie orientale, gradin supérieur, qui correspond à la zone d'affleurement des séries stratigraphiques du Karroo (Sakamena, Isalo) ;
- Une zone intermédiaire (gradin moyen), liée à une phase de transgression marine, constituée de série calcaire (Jurassique, Crétacé, Eocène, Oligocène-Miocène) et souvent coupée d'intercalation sédimentaire continentale (grès, argile, sable entrecroisé) ;
- Une partie occidentale (gradin inférieur) résultant d'un effondrement dû à d'importantes fractures et comportant des grès, des marnes, des sables et argiles de profondeur considérable. Ce dernier gradin correspond à la plaine côtière plio-quadernaire.

Le secteur concerné recoupe deux grands ensembles géomorphologiques distincts qui se succèdent d'Est en Ouest : le plateau calcaire et la plaine côtière. Le Fokontany d'Ambola se situe dans la plaine côtière sur le littoral Sud-Ouest de la grande île dont les formations dominantes sont les dunes vives sous-jacente de sable quadernaire. Limitée par la falaise du plateau calcaire à l'Est, et à l'Ouest par le canal du Mozambique, la plaine côtière forme une bande continue. L'existence de la falaise rectiligne est liée à un accident tectonique majeur, qui a abaissé le compartiment Ouest. L'altitude moyenne de la bande côtière est relativement faible, ne dépassant pas 30 m pour la moitié nord. Cependant, elle tend à augmenter vers le Sud, dépassant fréquemment les 50 mètres. La bande côtière est recouverte de dunes quadernaires de différentes générations, vives et souvent grésifiées. Certaines zones, plus argileuses en surface, permettent la formation de mares temporaires, en saison des pluies.

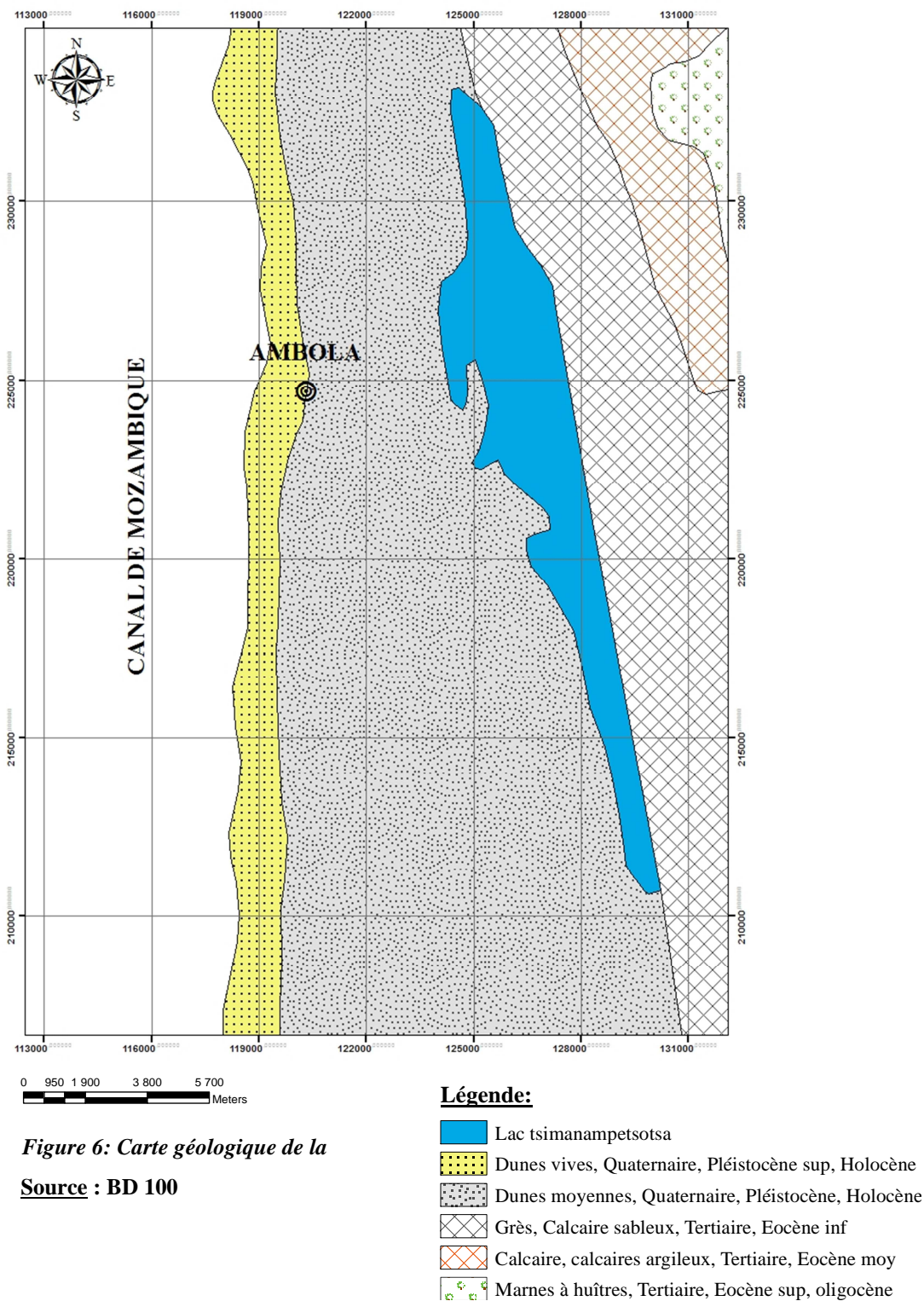


Figure 6: Carte géologique de la

Source : BD 100

I.1.4. Infrastructures sociales

La Commune Efoetsy enregistre la présence de certaines infrastructures sociales comme : le CSB II, les établissements scolaires (EPP, CEG) qui sont nouvellement créés et répertoriés au niveau du Fokotany d’Ambola ainsi que les cités des profs. Elle est aussi dotée d’un centre d’attraction touristique à la fois du côté terre ou Mer (figure 7).

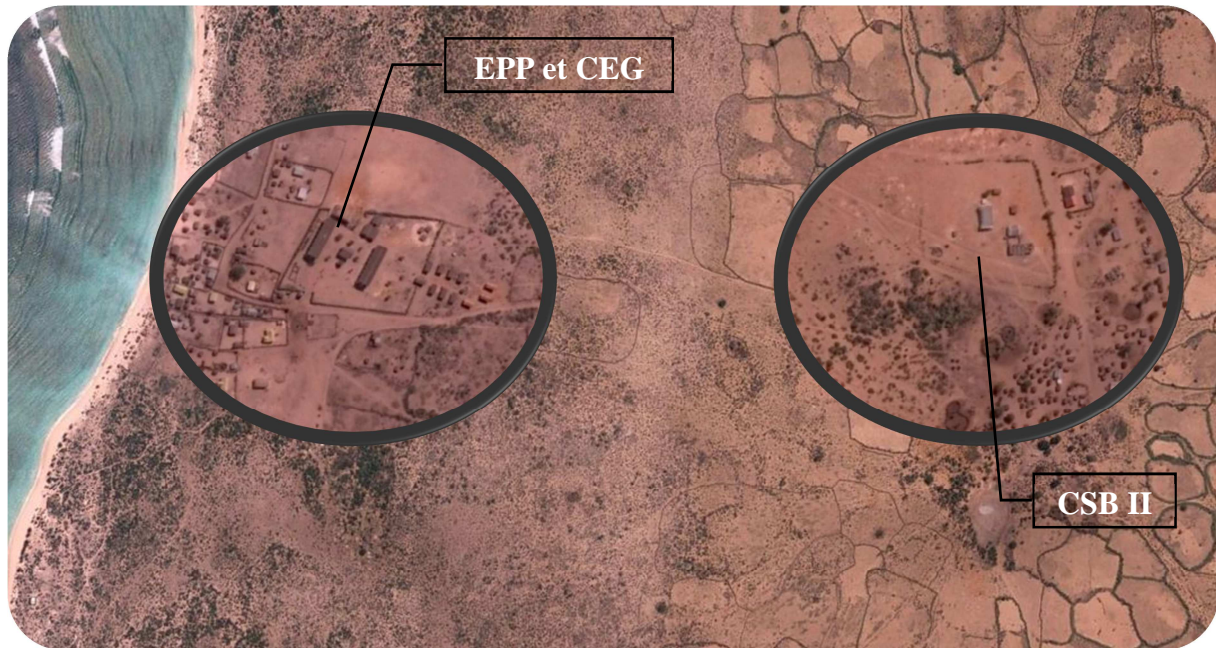


Figure 7: Infrastructures sociales de la zone d'étude

Source : Google Earth, 2015

Du côté mer, il y a le Domaine d'Ambola. C'est un Hôtel (bungalow) et restaurant situés au bord de la mer. Il bénéficie d'une grande plage de sable blanc et d'une belle vue de la mer sur tout au début du mois de Juin jusqu'au mois d'Octobre. C'est à ce moment-là que l'on peut admirer l'apparition des Baleines que même plusieurs touristes s'engouffrent chaque année pour réserver l'hôtel plusieurs mois en avance.

Du côté terre, à 7 km de l'hôtel le lac Tsimanapetsotsa attire aussi de nombreux touristes et scientifiques pour des recherches et l'admiration de beaux paysages et de ses richesses naturelles faunes et flores comme : les flamants roses, les mystérieux poissons aveugles qui peuplent les eaux de ses grottes sacrées, les baobabs millénaires, pachipodiums, arbre banian ou grand arbre à racines adventives aériennes.

En général, la commune Efoetsy bénéficie d'une grande potentielle pour son développement économique et social. Cependant le déficit en eau potable reste un problème non résolu pour la communauté.

Après avoir présenté la généralité sur la zone d'étude, nous allons poursuivre par les différentes méthodologies d'approche.



I.2. Démarches pour l'élaboration du projet de mémoire

Pour l'élaboration de ce projet, nous avons suivi une démarche méthodologique comprenant trois étapes obligatoires :

- Les travaux de documentation bibliographique ;
- L'étude sur le terrain ;
- L'analyse en laboratoire.

Nous allons développer ces étapes par la suite de ce paragraphe.

I.2.1. Travaux de documentation bibliographique

C'est une étape préparatoire qui consistait à dégager les grandes questions et les pistes de la problématique de notre sujet à explorer, à recueillir des données administratives et à formuler des hypothèses liées à notre étude en vue d'établir le plan de notre projet de mémoire. Enfin, cette étape nous a permis de nous documenter sur des études qui ont été effectuées par d'autres chercheurs dans ce domaine à savoir les indexes sur :

- La directive d'adduction d'eau potable du DECRET n° 2015-1042;
- Les techniques de forage hydrogéologique ;
- Les maladies d'origine hydrique ;
- L'analyse de l'eau ;
- Les techniques de désalinisation.

Avant la descente sur le terrain, nous avons obligatoirement consulté plusieurs cartes notamment géologiques et hydrogéologiques qui sont des outils précieux pour un géologue qui se respecte. Elles servent à localiser divers endroits du site pour l'orientation de notre étude, les diverses possibilités d'accès menant vers la zone cible.

I.2.2. Etude sur terrain

L'étude sur terrain a été réalisée avec l'aide de l'entreprise WWF et du Ministère de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Hygiène. Elle a duré pendant un mois et demi, le Janvier jusqu'à mi-février 2015 dans le Fokontany d'Ambola. Ces études s'articulait autour de :

- Une enquête basée sur l'analyse de la qualité de l'eau, sur les maladies d'origine hydrique, sur les sources de pollution des eaux ;
- Evaluation du besoin en eau potable ainsi que les prix d'achat de l'eau de la population dans le Fokontany d'Ambola ;
- Une reconnaissance hydrogéologique de la zone.

Au cours des travaux, nous avons recours aux outils tels (figures 8, 9, 10, 11) :

- Un GPS ;
- Sonde de niveau ;
- Des outils de prélèvement (plongeur et canne à prélèvement) ;
- Un conductimètre portable ;
- Un appareil photo numérique ;
- Un bloc note ;
- Un ordinateur portable ;
- Les équipements complets pour la réalisation d'un forage manuel par lançage d'eau.



Figure 8: GPS



Figure 9: Sonde de niveau



Figure 10: Conductimètre



Figure 11: Outil de prélèvement



Pour le traitement des données sur terrains et données numériques, nous avons utilisé les logiciels suivant.

- ArcGis ;
- RockWork ;
- AutoCAD.

Après avoir cité tous ces matériels que nous avons sollicité durant la réalisation des travaux, commençons maintenant par les enquêtes sur l'analyse de la qualité de l'eau.

I.2.2.1. Analyse de la qualité de l'eau

L'analyse de la qualité de l'eau a été réalisée d'une partie grâce à l'analyse sur site des eaux prélevées dans les puits au Fokontany d'Ambola et d'un autre par l'analyse au laboratoire. Nous avons inventorié 3 puits dans ce Fokontany, deux traditionnels et un puits busé (figure 12). Le tableau 1 ci-dessous présente, la localisation précise par les données GPS ainsi que la profondeur et niveau statique de ces puits.

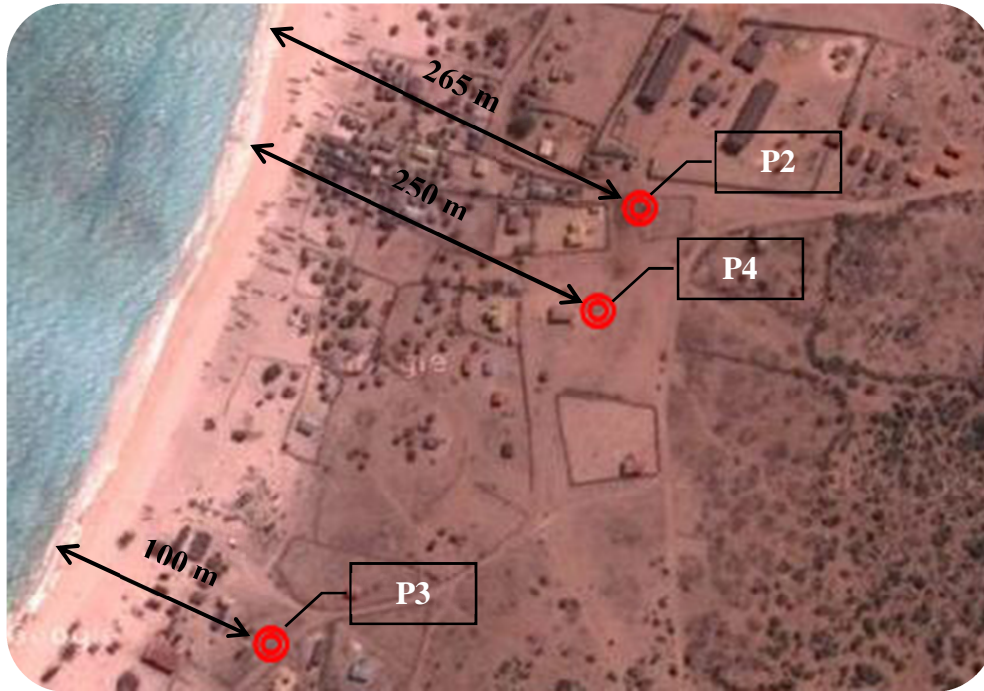


Figure 12: Inventaire des points d'eau dans le Fokontany d'Ambola

Source : Auteur, 2015

Tableau 1: Inventaire des points d'eau dans le Fokontany d'Ambola

Type des points d'eau	Profondeur (m)	Niveau statistique (m)	Coordonnées géographiques		
			Latitude	Longitude	Altitude [m]
P 2	1,75	1,5	43°40'48,1"E	24°04'26,1"S	12
P 3	3	2,5	43°40'32,8"E	24°04'32,7"S	11
P 4	5	4	43°40'45,0"E	24°04'24,7"S	12

Source : Auteur, 2015

P2 et P3 sont les puits traditionnels, et P4 est le puits busé.



La qualité de l'eau analysée est confrontée avec la NORME DE POTABILITE MALAGASY du Décret n° 2004-635 du 15/06/04. Trois (3) paramètres ont été considérés :

- Paramètres organoleptiques.
- Paramètres physico-chimiques.
- Paramètres microbiologiques.

Pour aboutir à l'analyse de ces paramètres, parlons d'abord de la méthode d'échantillonnage.

a. Méthode d'échantillonnage et d'analyse

Le prélèvement des échantillons d'eau est une opération délicate à laquelle le plus grand soin doit être apporté car il conditionne les résultats analytiques et l'interprétation qui en sera donnée. L'échantillon destiné à l'analyse est prélevé de façon à être le plus exactement possible représentatif du milieu d'où il provient, c'est à dire, il doit être homogène et obtenu sans modifier les caractéristiques physico-chimiques de l'eau comme : gaz dissous, matières en suspension [02]. Nous allons présenter dans le tableau 2 les caractéristiques du prélèvement d'échantillon d'eau.

Tableau 2: Caractéristiques du prélèvement d'échantillon d'eau

Type d'analyse	Nature de l'eau	Outil de prélèvement	Outil de conservation	Lieu d'analyse	Date de prélèvement
Organoleptique et physique	Eau brute	Flotteur et canne	Bouteille	Sur site	07/01/15 au 20/01/15
Chimiques et microbiologiques	Eau brute		Bouteille stérile à 4°C	En laboratoire	15/02/15

Source : Auteur, 2015

Effectivement, l'analyse de certain paramètres physiques tels: la température de l'eau, la salinité et la conductivité ont été effectués sur site par la méthode expérimentale en utilisant un thermomètre et conductimètre portable. Mais aussi certains paramètres organoleptiques comme l'odeur qui peut disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifier au cours du stockage, ou l'apparition de coloration ou de précipitation, ont été déterminés aussi sur site.

Selon la nature de notre échantillon qui est une eau brute prélevée dans des puits, nous avons adopté un mode de prélèvement spécifique. D'abord, nous avons réglé le flotteur pour que la prise d'échantillon soit à une certaine distance du fond et d'environ à 50 cm de la surface. Ensuite, nous avons plongé ce dernier à l'aide d'une canne à prélèvement de manière



à éviter les bords ainsi que des obstacles naturels, et en fin remonté délicatement en évitant la remise en suspension des dépôts.

Le tableau 3 présente l'horaire et la date du prélèvement des échantillons d'eau pour les analyses physiques et organoleptiques sur site.

Tableau 3: Horaire et date du prélèvement

Horaire	Du 07 au 13/01/15	Du 14 au 20/01/15
6 h	7 échantillons de P3	7 échantillons de P4
12 h	7 échantillons de P3	7 échantillons de P4
18 h	7 échantillons de P3	7 échantillons de P4
	21 échantillons de P3	21 échantillons de P3

Source : Auteur, 2015

Légende : P3 : Puits traditionnel n°3

P4 : Puits traditionnel n°4

Pour l'analyse des paramètres physiques, le prélèvement d'échantillon est journalière et à durer 14 jours, 7 jours pour le puits traditionnel P3, du mercredi 07 au mardi 13 janvier 2015 et 7 jours pour le puits busé P4, du mercredi 14 au mardi 20 janvier 2015. Nous avons prélevés puis analysés trois échantillons par jours pendant les 14 jours, chaque matinée à 06 h puis le midi à 12 h et en fin le soir à 18 h. Ces trois prises d'échantillons sont conditionnées par trois paramètres, la distance par rapport à la mer, la salinité et la température de l'atmosphère au moment du prélèvement.

Pour les autres paramètres, notamment les paramètres chimiques et microbiologiques, la prise d'échantillon est un peu plus délicate en terme de la condition de transport et de conservation car l'analyses au laboratoire doivent être réalisés avec des échantillons encore frais, [02].

Obligatoirement un certain temps de transport et d'une éventuelle attente au laboratoire avant la mise en route analytique et ces temps devront être réduit au minimum. Alors nous avons pris une mesure qui semble le plus approprié possible pour une conservation satisfaisante. Nous avons prélevé un échantillon d'eau dernièrement, c'est-à-dire, vers la fin des travaux sur terrain, le 15 février 2015 dans un récipient stérile de 1,5 litres et conserver dans une glacière à une température réglé à 4°C et à l'obscurité dans des emballages isothermes jusqu'au laboratoire.



b. Analyse des paramètres organoleptiques

Ces paramètres organoleptiques ont été directement analysés et évalués selon l'organe de sens, à savoir :

b.1. Couleur

À l'œil nu nous n'avons pas pu distinguer si la couleur est réelle ou apparente alors nous avons considérés la couleur qui est visible.

b.2. Odeur

Nous savons que toute odeur dans l'eau est un signe de pollution ou la présence de matières organiques en décomposition. Alors selon le sens olfactif nous avons indiqué la présence ou absence d'odeur.

b.3. Saveur

C'est l'ensemble des sensations gustatives et de sensibilité chimique Commune perçue lorsque la boisson est dans la bouche. Alors, vu que la contamination saline est prédominante, nous avons considéré la salinité de l'eau, comme saumâtre ou salé selon la saveur.

c. Analyse des paramètres physiques

Par la méthode expérimentale, grâce aux appareils de mesure tels un thermomètre et conductimètre portable que l'entreprise WWF nous a fourni, nous avons pu faire les analyses pour les paramètres physiques suivants.

c.1. Mesure de la conductivité

La conductivité de l'eau est la mesure de sa capacité de conduire un courant électrique par mouvement ionique. Elle augmente avec la température. Pour notre mesure, la température de référence est de 25 °C, c'est-à-dire qu' avant d'exprimer le résultat, il faut vérifiez que la température de l'échantillon est à peu près 25°C. Le résultat est exprimé en $\mu\text{S}/\text{cm}$ est obtenu par la lecture direct du conductimètre.

c.2. Mesure de la température de l'eau

La température de l'eau est aussi donnée par la lecture directe du conductimètre et exprimé en °C, de sorte que la conductivité est fonction de la température de l'eau.



c.3. Mesure de la minéralisation totale et salinité de l'eau

La mesure de conductivité donne une bonne indication du taux de sels dissous, ou TDS de l'échantillon prélevé. L'appareil utilisé est le même et fait généralement la conversion automatiquement pour la mesure de la salinité. Avant d'exprimer le résultat, il faut vérifier que la température de l'échantillon est à peu près 25°C. Les résultats sont exprimés en mg / l pour le TDS et en % pour la salinité, ces derniers sont obtenus par la lecture directe du conductimètre.

Après avoir effectué ces différentes analyses physiques, nous avons enquêté sur les différentes maladies d'origine hydrique.

I.2.2.2. Enquête sur les maladies d'origine hydrique

Pour connaître les maladies d'origine hydrique dans le Fokontany d'Ambola, nous avons procéder de deux manières. La première consiste à effectuer des enquêtes par questionnaires à propos des maladies les plus fréquentes selon les opinions des ménages par unité d'habitation qui utilisent l'eau des puits dans ce dernier. La seconde est une enquête par identification des maladies d'origine hydrique et dénombrement des patients victimes de ces dernières au niveau du centre de santé de base niveau II ou CSB II situé dans la Commune Efoetsy. Notre enquête a duré huit (8) jours dont : six jours était dans le village d'Ambola et deux jours dans le CSB II d'Efoetsy, du mardi 20 jusqu'à mercredi 28 janvier 2015. Le tableau 4 présente les détails des enquêtes.

Tableau 4: Enquête sur les maladies d'origine hydrique

Enquête sur les maladies d'origine hydrique			
Lieu	Fokontany d'Ambola	Lieu	CSB II, Efoetsy
Début	Mardi 20 janvier 2015	Début	Mardi 27 janvier 2015
Fin	Lundi 26 janvier 2015	Fin	Mercredi 28 janvier 2015
Duré total	6 jours	Duré total	2 jours
Type	Enquête par questionnaire	Type	Enquête par consultation d'archives

Source : Auteur, 2015

Premièrement, le mardi 20 jusqu'à lundi 26 janvier 2015, nous avons interrogé douze ménages dans le Fokontany d'Ambola et deux ménages par jour ont été enquêtés. Pour chacun d'eux, nous avons posé plusieurs questionnaires concernant les caractéristiques des ménages, les maladies les plus fréquents, et la vulnérabilité des victimes.

Deuxièmement, le mardi 27 jusqu'à mercredi 28 janvier 2015, nous avons visité le centre de santé de base niveaux deux de la Commune Efoetsy et consulté leurs archives disponibles concernant le nombre de malades et les types de maladies d'origine hydrique. Selon leur



enregistrement disponible, daté le mois de décembre 2014 et janvier 2015, les maladies les plus fréquents sont les parasites intestinaux qui provoquent les maladies intestinales comme la bilharziose, et la typhoïde, etc surtout le cas des enfants. et aussi des infections comme, l'infection cutanée, l'infection pulmonaire, et l'infection urinaire. Pour les personnes âgées, ils souffrent d'insuffisance rénale, d'hypertension artérielle et de la calcification vasculaire.

I.2.2.3. Enquête sur les sources de pollution des eaux

Selon notre enquête, deux sources de pollution des eaux ont été considéré sur site, à savoir : la pollution d'origine naturelle et la pollution d'origine anthropique. Une eau est dite polluée quand les différents paramètres organoleptiques, physico-chimiques, et bactériologiques qui la déterminent ne correspondent pas, que ce soit en excès ou en défaut par rapport au NORME DE POTABILITE MALAGASY, Décret n° 2004 - 635 du 15/06/04 imposée par notre Etat.

a. Pollution d'origine naturelle

La pollution de l'eau peut-être aussi d'origine naturel, c'est-à-dire que ce sont les conditions naturelles qui déterminent son caractère. Pour notre cas, la situation géologique est le facteur principal qui favorise la pollution des eaux souterraines dans la région. C'est-à-dire que, la nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue car à tout instant, l'eau est en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule alors il établit un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. D'après l'étude de reconnaissance hydrogéologique par forage que nous avons effectuée dans le Fokontany d'Ambola, les cutting prélevés et reconstituées selon l'ordre d'apparition montrent des couches abondantes en roche calcaire. Effectivement, les eaux circulant dans des sols calcaires sont forcément à caractère bicarbonatées calciques dues au phénomène de lessivage ou transport d'éléments composant un sol sous l'effet de l'écoulement des eaux d'infiltration.

Mais aussi, notre zone est située proche de la mer ou en zone littorale, alors ces eaux souterraines sont aussi soumises à l'influence de l'intrusion marine. C'est-à-dire qu'une contamination par le sel de mer est très favorable pour les eaux souterraines dans la zone.

De plus, il n'y a pas que l'intrusion marine qui influe les eaux souterraines dans les zones littorales mais aussi une croissance bactériologique considérable. En milieu calcaire, la croissance des bactéries est multipliée trois fois plus par rapport à d'autres milieux.

Dernièrement, sans oublier les conditions climatiques comme la température, et l'ETR qui sont les moteurs favorisent tous ces facteurs favorables à la pollution d'origine naturelle.



b. Pollution d'origine anthropique

Les comportements des villageois dans le Fokontany d'Ambola par rapport à l'hygiène sont aussi parmi les sources de contamination des eaux souterraines à savoir, la pratique de la défécation à l'air libre ou DAL et les rejets domestiques près des points d'eaux.

Après avoir vu les démarches des enquêtes basé sur la qualité de l'eau, sur les maladies d'origine hydrique, et sur les sources de pollution des eaux, nous allons poursuivre par une évaluation du besoin en eau potable de la population dans le Fokontany d'Ambola.

I.2.2.4. Evaluation du besoin en eau potable

Pour l'évaluation du besoin en eau potable de la population dans le Fokontany d'Ambola, les données suivantes sont nécessaires :

- Le nombre total de la population à desservir qui est fonction de l'horizon du projet et du taux de croissance annuel de la population ;
- La consommation journalière qui est fonction du débit unitaire et le nombre total de la population ;
- Le débit moyen journalier.

Pour compléter ces données, nous avons effectué une enquête et aussi des calculs par l'utilisation de plusieurs formules que nous expliquerons par la suite.

a. Nombre total de la population

Pour connaître le nombre total de la population à desservir, nous avons besoin du taux d'accroissement démographique de la population qui est d'ordre de 2,5% selon les données de l'INSTAT du PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUE, 1993-2030 en utilisant la formule suivante : [08]

$$N_n = N_0 * (1+t)^n$$

Avec :

N_n : Nombre de population après quinze années. (n = 15, Année 2030) ;

N_0 : Nombre de population actuelle. (n = 0, Année 2015) ;

t : Taux d'accroissement égal à 0,025 ;

n : Durée du projet. (15 ans).



b. Estimation des besoins en eau potable

Pour la détermination des besoins en eau potable, il faut connaître la consommation journalière des utilisateurs. Une vérification du besoin spécifique en eau a été effectuée lors de la descente sur terrain. La méthode utilisée se base sur le volume de stockage d'eau, leur rythme de remplissage journalier ainsi que leur mode d'usage journalier.

Les normes de consommation en eau potable adoptées dans notre étude varient selon les modes d'usages d'eau destinée à la consommation de la population locale d'Ambola.

Alors, l'objectif du projet a été fixé de manière à satisfaire en priorité les besoins en eau de boisson, et de cuisson de la population.

Ce type de besoin journalier de la population est obtenu par la formule : [08]

$$C_j = Q_u \times N$$

Avec :

C_j : besoin journalière de la population (l/j)

Q_u : débit unitaire par habitant (l/j/hab)

N : nombre de population (hab)

Le débit moyen journalier exprime le débit prélevé par les consommateurs par seconde qui est exprimé par la formule ci-après : [08]

$$Q_{mj} = C_{mj} \div 86\,400$$

Avec :

86 400 (s) représente 24 (h) ou un jour

Q_{mj} : débit moyen journalier (l/s)

C_{mj} : consommation moyen journalier de la population à l'horizon de 2030

c. Calcul du volume puisé V

Le volume puisé V correspond aux volumes prélevés pendant les tranches d'heure considérées comme temps de puisage. Ce volume est donné par la formule suivante : [08]

$$V_p = C_{mj} \times K_C$$



Avec :

V_p : volume puisé (l)

C_{mj} : consommation moyenne journalière de la population à l'horizon de 2030 (l/j)

K_c : coefficient de consommation (%)

d. Calcul du débit et coefficient de pointe horaire

Le débit de pointe a été déterminé selon les habitudes des villageois par rapport l'heure de puisage. D'après l'enquête, presque la totalité des ménages d'Ambola collecte de l'eau durant la matinée et vers la fin de l'après-midi. L'heure de puisage est souvent paramétrée par la température et la disponibilité des revendeurs d'eau. Plus la température est moins importante, c'est-à-dire de 05h à 09h et de 15h à 19h, plus l'eau de puits est moins salée, et plus la pointe horaire est grande. Inversement, plus la température est importante, c'est-à-dire de 12h à 14h plus l'eau de puits devient plus salé alors la pointe horaire est moindre.

d.1. Calcul du débit de pointe Q_p

Ce débit de pointe est défini comme le maximum du débit par tranche d'heures et est déterminé par la relation suivante : [08]

$$Q_p = V \div (T \times 3600)$$

Avec :

3 600 (s) représente une heure

Q_p : débit de pointe (l/s)

V : volume puisé (l)

T : durée de prélèvement (h)

d.2. Calcul du coefficient de pointe C_p

Le coefficient de pointe est exprimé par la formule suivante : [08]

$$C_p = Q_p \div Q_{mj}$$

Avec :

C_p : coefficient de pointe

Q_p : débit de pointe (l/j)

Q_{mj} : débit moyen journalier de la population à l'horizon de 2030 (l/j)



e. Evaluation du prix d'achat d'eau

Pour l'évaluation du prix d'achat d'eau, nous avons interrogé quelques vendeurs, et aussi quelques ménages qui sollicitent leurs services. Selon les vendeurs, le prix de vente de l'eau dépend de la qualité en termes de salinité et de la distance de puisage. Ensuite nous avons interrogé quelques ménages pour évaluer leurs tarifs habituels d'achat d'eau selon leurs possibilités.

Après avoir établi les démarches pour l'évaluation des besoins en eau potable de la population dans le Fokontany d'Ambola, nous avons effectué une étude de reconnaissance hydrogéologique que nous allons développer par la suite.

I.2.2.5. Reconnaissance hydrogéologique

L'étude de reconnaissance hydrogéologique que nous avons réalisée est basée sur deux méthodes à savoir :

- Le rainurage des puits traditionnels existants dans le Fokontany d'Ambola;
- Le sondage hydrogéologique par forage manuel.

La première est le rainurage des puits traditionnels inventoriés dans le Fokontany d'Ambola à savoir, P2 et P3. Cette méthode consiste à prélever des échantillons de sol d'une paroi du puits dans le sens vertical afin d'être ensuite identifiés et reconstitués à l'échelle choisi. Cette méthode permet de déterminer les différentes couches lithologiques qui constituent le système aquifère de notre zone d'étude.

La seconde est un sondage hydrogéologique par forage manuel à lancement d'eau. L'objectif que nous avons fixé pour cette méthode est de connaître les caractéristiques hydrodynamiques des nappes d'eau souterraine de la zone à savoir [09]:

- Les types de nappe rencontrés et exploités par la communauté locale ;
- Les diverses couches lithologiques qui forment le système aquifère de la zone ;
- La profondeur des nappes ;
- Les niveaux statiques et niveaux dynamiques après essai de pompage ;
- Le débit de la nappe et débit exploitable.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons procédé comme suit.

a. Travaux de forage

Les travaux de forage que nous avons réalisé est de type manuel par lancement d'eau. C'est une technique de forage très pratique et rapide pour les sites situés en littoral comme dans le Fokontany d'Ambola. Par cette technique, nous avons réalisé deux forages hydrogéologiques dont les caractéristiques sont présentées par le tableau 5.

Tableau 5: Caractéristiques des deux forages réalisés

Point d'implantation	Profondeur (m)	Diamètre (Pouce)	Coordonnées géographiques		
			Latitude	Longitude	Altitude [m]
P 1	20	7	43°40'45,0"E	24°04'24,7"S	14
P 4	5	7	43°40'45,0"E	24°04'24,7"S	12

Source : Auteur, 2015

Le premier est situé dans le village près du puits busé P4 et le second est situé un peu plus loin distant d'environ 500 mètres de la mer nommé par P1. Nous avons utilisé le logiciel Rockwork pour la disposition précise de ces puits et forages. C'est une carte orientée selon les coordonnées géographiques de chaque puits et forage avec leur altitude présenté par les plages de couleur par rapport au niveau de la mer (Figure 13).

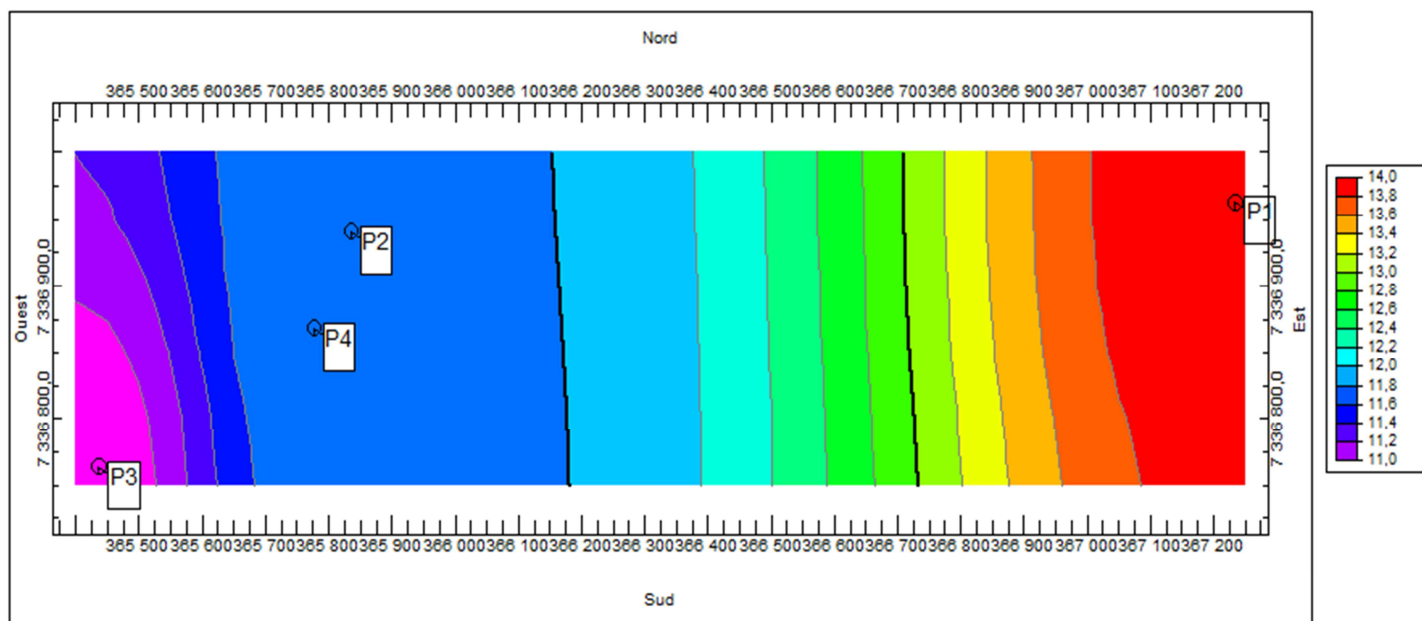


Figure 13: Disposition des puits et forages dans le Fokontany d'Ambola

Source : Auteur, 2015

Les plages de couleurs indiquent l'élévation par rapport au niveau de la mer qui varie de 10 à 14 mètres. P3 est le plus proche de la mer, avec une élévation de 10 mètres, P2 et P4 ont les

mêmes altitudes d'ordre de 12 mètres et en fin P1 le plus éloigné de la mer avec une élévation de 14 mètres.

Le choix de l'implantation des forages est basé sur l'étude de la qualité de l'eau en terme de saveur des eaux souterraines puisées par les villageois venant des puits locaux avec une saveur saumâtre, et celle venant des puits du village voisin avec une qualité d'eau de saveur peu saumâtre et qui est situé plus éloigné de la mer. La récupération des cutting nous a permis de reconstituer les différentes couches lithologiques ainsi que les types de nappe phréatiques ou aquifères rencontrés.

b. Evaluation du débit théorique

Pour l'évaluation de la potentialité des nappes d'eau souterraine de notre zone d'étude, nous avons utilisé la méthode d'Authossère. Cette méthode consiste à exploiter un tableau résumant les résultats d'essais de pompage effectué à un certain temps et donnant les valeurs de débits spécifiques Q_s en relation avec la lithologie et la transmissivité T. (tableau 6)

Tableau 6: Tableau d'Authossère

Type d'aquifère	Argiles sableuses à grains fins	Argiles sableuses à grains moyens à grossiers	Sables argileux à grains fins	Sables argileux à grains moyens à grossiers	Sables purs à grains fins	Sables purs à grains moyens	Sables grossiers	Graviers
T [m ² /s]	1.10 ⁻⁵	5.10 ⁻⁵	1.10 ⁻⁴	5.10 ⁻⁴	1.10 ⁻³	5.10 ⁻³	1.10 ⁻²	5.10 ⁻²
Qs m ³ /h/m	0,026315	0,130718	0,263157	1,316189	2,631578	13,071895	26,315789	130,718954

Source : [11]

Ces valeurs sont les moyennes des résultats des répétitions d'essais de pompage par paliers de courtes durées jusqu'à l'obtention de la stabilité.

c. Application de la méthode Authossère

La procédure à mettre en œuvre pour aboutir à l'évaluation du débit comprend les activités suivantes [11]:

- Interpréter la nature lithologique des terrains aquifères à partir de la connaissance du contexte hydrogéologique de la zone étudiée;
- Evaluer la transmissivité (T) à partir du tableau Authossère ;
- A partir de la transmissivité (T), évaluer le débit spécifique (Q_s) en utilisant le tableau Authossère ;



- Estimer le niveau statique rencontré dans la zone étudiée en exploitant les données de base existantes ;
- Estimer alors la profondeur totale de l'ouvrage (P_t) pour déduire la valeur de la colonne d'eau (H):

$$H = \text{Profondeur total}(P_t) - \text{Niveaustatique}(N_s)$$

- Calculer ainsi le rabattement maximal admissible (s) :

$$s = H \times \frac{2}{3}$$

- En conclusion : Le débit d'exploitation est égal à :

$$\text{Débit d'exploitation}(Q_{exp}) = Q_s \times s$$

Après avoir achevé les différentes études sur le terrain, nous allons poursuivre par les différentes analyses en laboratoire.

I.2.3. Analyses en laboratoire

Après le prélèvement d'échantillons d'eau selon les modes opératoires précis cités précédemment, nous avons effectué les analyses suivantes en laboratoire au cours de notre stage à la DIRECTION DE L'EXPLOITATION EAU ou DEXO d'Antananarivo le 18/02/15. Le tableau 7 suivant présente les types d'analyse ainsi que les chronologies du stage.

Tableau 7: Analyse en laboratoire DEXO

DIRECTION DE L'EXPLOITATION EAU ou DEXO à Antananarivo			
Analyse A	Analyse physico-chimique	Analyse B	Analyse bactériologique
Début	Mercredi 18 février 2015	Début	Jeudi 26 février 2015
Fin	Mercredi 25 février 2015	Fin	Mercredi 04 mars 2015
Duré total	5 jours	Duré total	5 jours

Source : Auteur, 2015

Notre stage a duré deux semaines. Pendant la première semaine, nous avons effectué les analyses physico-chimiques et la deuxième semaine pour l'analyse bactériologique sans oublier la mesure de la turbidité et le pH.

I.2.3.1 Analyse des paramètres chimiques

Les analyses chimiques se particularisent par l'utilisation de divers réactifs chimiques comme catalyseur ou indicateur coloré, et l'utilisation des appareils pour faciliter la lecture des résultats. Ces analyses chimiques ont été catégorisées en deux :



- L'analyse volumétrique ;
- L'analyse colorimétrique.

a. Analyse volumétrique

L'analyse volumétrique consiste à ajouter dans la solution à analyser les différents réactifs correspondant aux paramètres recherchés. Puis, à titrer cette solution par un autre réactif neutralisant ceux présents dans la solution. Les résultats correspondent aux volumes de solution versée après virage de l'indicateur coloré.

Par cette méthode, nous avons effectué l'analyse des paramètres chimiques suivants.

- La dureté total ou TH ;
- La dureté calcique ou TH Ca ;
- Le titre alcalimétrique simple ou TA ;
- Le titre alcalimétrique complet ou TAC ;
- Le dosage des matières organiques.

b. Analyse colorimétrique

L'analyse colorimétrique consiste à ajouter dans la solution à analyser un réactif coloré ; la couleur ainsi obtenue est fonction de la concentration de l'élément minéral recherché. Le résultat est la concentration correspondant à l'intensité de la couleur et se lit à l'aide des appareils, comme le spectrophotomètre, la plaquette, que montrent les figures 14, 15, 16, 17.

Par cette méthode, et à l'aide de ces appareils, nous avons effectué l'analyse des paramètres chimiques suivants.

- Le Nitrites NO_2^-
- Le Nitrates NO_3^-
- Le Sulfates SO_4^{2-}
- L'Ammonium NH_4^+
- Le dosage de fer total Fe
- Le pH
- La turbidité.

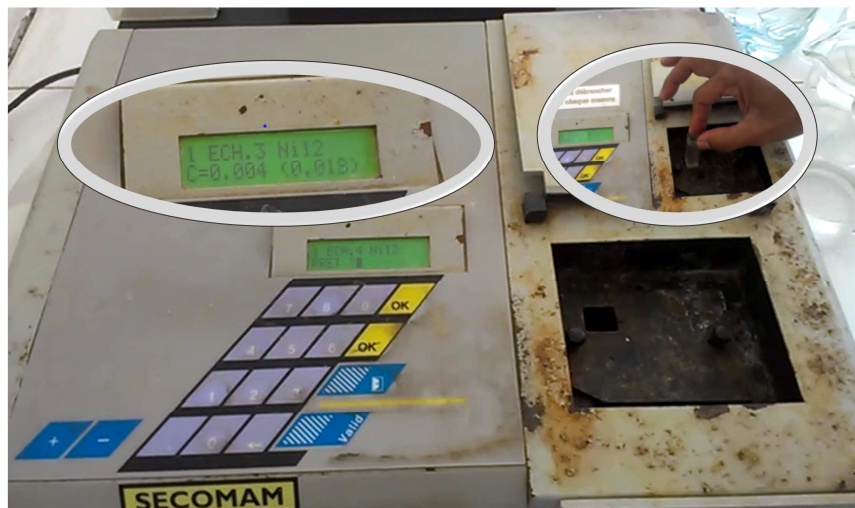


Figure 14: Spectrophotomètre



Figure 15: Turbidimètre 2100P



Figure 16: pH mètre CG 818



Figure 17: Plaquette Fe pour 0,3 à 5 mg/l

Source : Auteur, 2015



I.2.3.2. Analyse des paramètres microbiologiques

L'analyse microbiologique ou bactériologique que nous avons effectué a pour objectif de rechercher les espèces présentes qui sont susceptibles d'être pathogènes ou celles qui sont indicatrices de contaminations fécales.

Selon le laboratoire d'analyse à la DIRECTION DE L'EXPLOITATION EAU d'Antananarivo, la condition de potabilité est conditionnée par le taux de présence des quatre germes testes de contamination fécale suivante :

- Coliformes totaux ou CT;
- Escherichia coli ou EC;
- Streptocoques fécaux ou SF;
- Anaérobies sulfito-réducteurs ou ASR.

Pour l'analyse de ces germes, deux méthodes ont été pratiqué généralement en milieux solide, à savoir la méthode par filtration et la méthode par incorporation que nous allons développer dans le paragraphe suivante.

a. Méthode par filtration

Pour l'analyse des trois premiers germes à savoir, les coliformes totaux, l'Escherichia coli, et les Streptocoques fécaux en milieu solide, nous avons effectué la méthode par filtration. C'est une méthode qui consiste à filtrer l'eau à analyser à travers une membrane filtrante qui retient les micro-organismes. Par la suite, elle est placée sur un milieu gélosé favorable pour la croissance des micro-organismes. En final, durant l'incubation, des colonies se forment à la surface de la membrane, ou contrairement elle reste intacte. Les figures 18, 19, 20, 21 ci-dessous présentent les étapes préparatoires.

- D'abord, nous avons préparé le multi-filtre et vérifié que tous les outils sont prêts et stériles. Avant toute manipulation, il faut allumer le chalumeau à gaz et ne pas éteindre jusqu'à la fin de l'expérimentation.

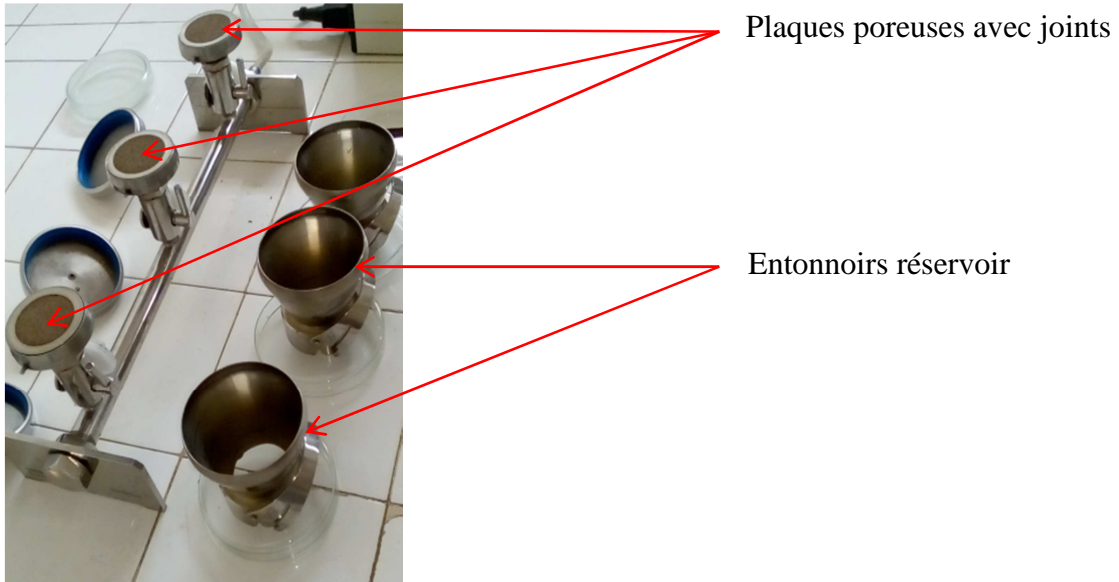


Figure 18: Multi-filtre avec entonnoir réservoir

- Placer délicatement la membrane filtre sur la plaque poreuse (figure 19).

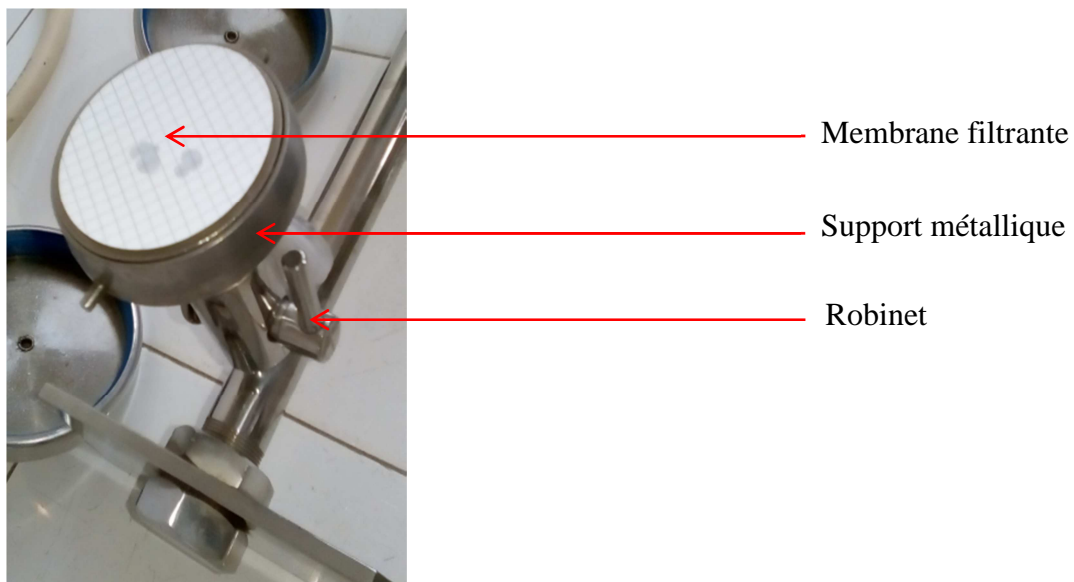


Figure 19: Filtre et membrane filtrante

Source : Auteur, 2015

- Puis, nous avons fixé l'entonnoir réservoir sur le support métallique et versé l'échantillon d'eau dans l'entonnoir jusqu'à la graduation prescrite (figure 20).

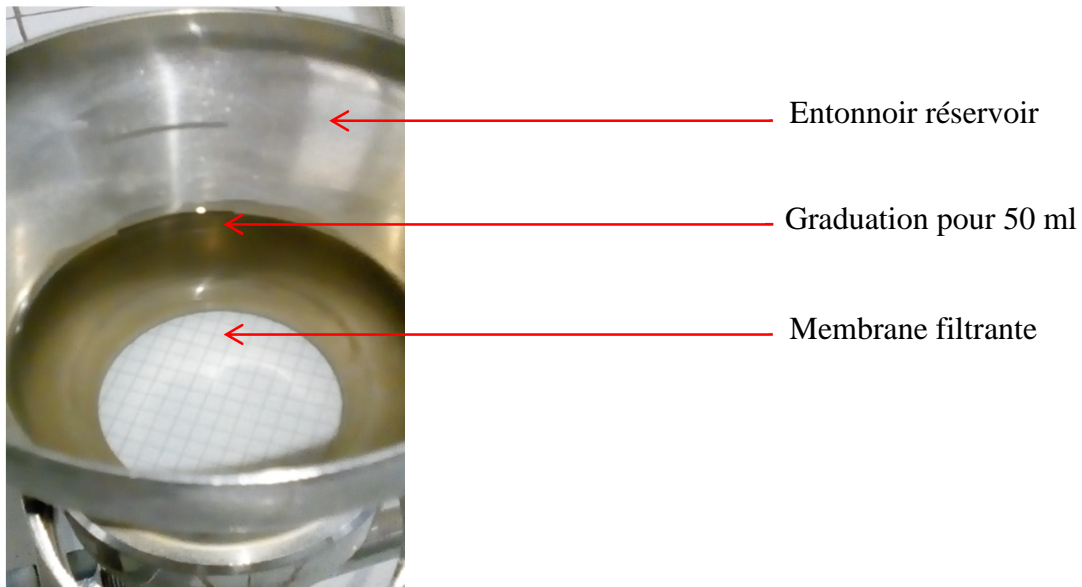


Figure 20: Entonnoir rempli d'eau avec membrane filtrante

- Juste après la filtration, la membrane est déposée rapidement dans des boîtes de PETRI (figure 21) qui sont les milieux de culture par une pincette stérile et recouvert rapidement.

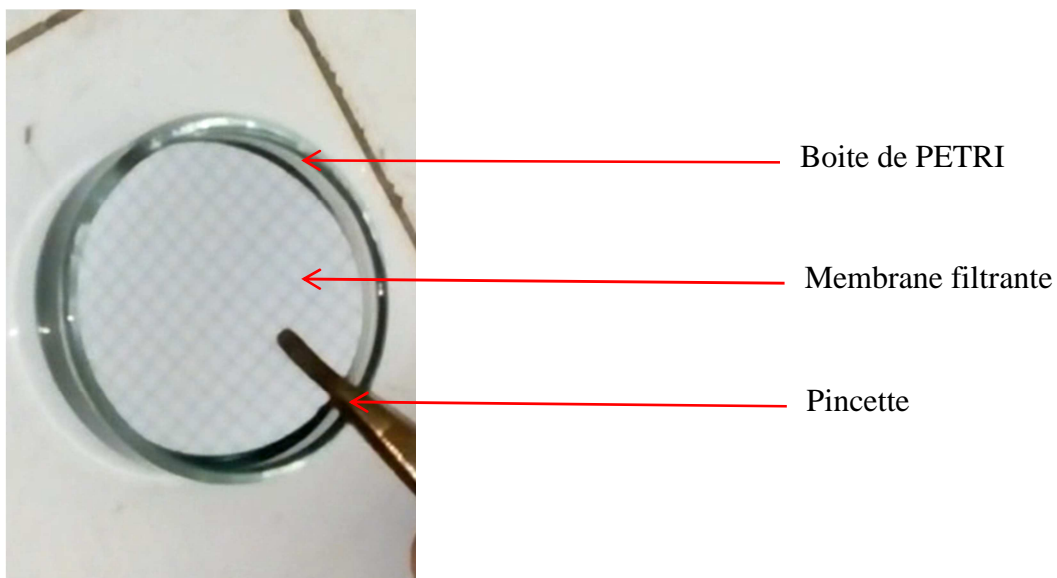


Figure 21: Placement de la membrane dans la boîte de PETRI

Source : Auteur, 2015

Le tableau 8 présente le type de germe à rechercher ainsi que les caractéristiques des trois milieux de culture.

Tableau 8: Type de germe et caractéristiques des trois milieux de cultures

Germe	Couleur du milieu	Temps d'incubation (h)	Température d'incubation (°C)	Proportion d'eau filtrée (ml)
Coliformes totaux	Vert	24	37	1 / 100
Escherichia coli	Vert	24	44	1 / 100
Streptocoques fécaux	Rose	48	37	50 / 100

Source : Auteur, 2015

Ces trois milieux de culture sont présentés par les figures 22, 23, 24 :



Figure 22: Milieu de culture pour les coliformes totaux



Figure 23: Milieu de culture pour les Escherichia coli



Figure 24: Milieu de culture pour les streptocoques fécaux

Source : Auteur, 2015

b. Méthode par incorporation

L'échantillon d'eau à analyser est mélangé au milieu de culture solide préalablement fondu et refroidi à une température proche de celle de la solidification. Après incubation, les colonies qui se développent à la surface et à l'intérieur du milieu ou contrairement elle reste intacte.

Nous allons présenter dans le tableau 9 le type de germe à rechercher ainsi que les caractéristiques de son milieu de culture.

Tableau 9: Type et caractéristique du milieu de culture en tube

Germe	Couleur du milieu en tube	Temps d'incubation (h)	Température d'incubation (°C)	Proportion d'eau diluée (ml)
ASR	Jaune claire	24	37	1 /20

Source : Auteur, 2015

Ce type de milieu est présenté par la figure 25.



Figure 25: milieu de culture pour les bactéries anaérobies sulfito-réducteurs

Source : Auteur, 2015

Dans ces différents paragraphes de la première partie de ce document, nous avons vu la généralité sur la zone d'étude ainsi que les démarches méthodologiques. Par la suite, nous allons poursuivre par la deuxième partie qui est la présentation des différents résultats ainsi que ces interprétations.

Deuxième partie

PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Après avoir décrit les étapes des démarches méthodologiques précédents, nous allons présenter les résultats ainsi que les interprétations selon leurs catégories à savoir : les résultats des analyses sur la qualité de l'eau ; les résultats des enquêtes sur terrain ; les résultats des études de reconnaissance hydrogéologique.

II.1. Résultats des analyses de la qualité de l'eau

II.1.1. Paramètres organoleptiques

Les paramètres organoleptiques ont été déterminés sur le terrain de façon directe, c'est-à-dire, sans l'utilisation d'aucun appareil mais identifier par l'organe de sens. Trois paramètres ont été considérés à savoir, la couleur, l'odeur et la saveur dont les résultats sont présentés par le tableau 10.

Tableau 10: Paramètres organoleptiques

	Couleur	Odeur	Saveur
P3	Jaunâtre	Présent	Salé
P4	Peu claire	Présent	Saumâtre
Norme du JIRAMA	Incolore	Absent	Douce

Source : Auteur, 2015

D'après ces résultats, on constate qu'aucun des eaux de ces puits ne respectent les normes organoleptiques de potabilité des eaux destinées à la consommation.

La couleur jaunâtre des eaux des puits traditionnel s'explique par la présence des substances en suspension et ou dissoutes extraites des parois du puits ainsi que la remontée des boues en décantation après puisage vu que la colonne d'eau est réduite. Le puits busé est peu clair car les parois sont protégées par les buses et la colonne d'eau est plus abondante.

La présence d'odeur dans ces trois puits s'explique par la décomposition des matières organiques des différentes saletés tombées ou piégées dans ces puits vu qu'ils ne sont pas protégés ou couverts après usage.

La saveur saumâtre est due à la contamination saline de l'eau de mer qui influe les aquifères littoraux. C'est-à-dire que, plus les aquifères sont proches de la mer, plus la contamination saline des nappes souterraines est importante.

II.1.2. Paramètres physiques

Pour l'analyse des paramètres physiques d'échantillons d'eaux prélevés dans les puits P3 et P4 sur terrain par l'utilisation d'un thermomètre et conductimètre, nous avons répertorié les résultats dans les tableaux 11, 12.

Tableau 11: Paramètres physiques du puits traditionnel P3

Puits P3	Heure	Sam	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Vend	Norme
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	6h	8250	8205	8266	8308	8280	8297	8243	≤ 2000
	12h	8810	8840	8890	8902	8864	8828	8965	
	18h	8660	8678	8779	8598	8667	8669	8701	
Température ($^{\circ}\text{C}$)	6h	24,6	24,5	25,3	25,5	24,8	24,4	24	15 à 25
	12h	27,8	28	27,5	27,6	28,2	28,6	29	
	18h	25,7	26	26,3	25,3	25,8	24,7	25	
TDS (mg/l)	6h	8856	8848	8798	9006	8986	8769	8896	≤ 1000
	12h	9870	9978	9898	9768	9876	9978	8997	
	18h	8934	8956	8867	8964	8967	8883	8897	
Salinité (%)	6h	0,58	0,56	0,57	0,57	0,59	0,48	0,52	$< 0,1$
	12h	0,71	0,80	0,82	0,85	0,73	0,75	0,71	
	18h	0,68	0,70	0,56	0,59	0,63	0,66	0,65	

Source : Auteur, 2015

Tableau 12: Paramètres physiques du puits busé P4

Puits P4	Heure	Sam	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Vend	Norme
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	6h	7240	7250	7310	7356	7518	6987	6997	≤ 2000
	12h	7710	7865	8056	8067	7987	7989	8098	
	18h	7630	7687	7895	7687	7875	7489	7650	
Température ($^{\circ}\text{C}$)	6h	24,2	24,7	25	25,6	26,2	25	24,8	15 à 25
	12h	27,5	28,4	27,8	28,5	29	28,7	27,8	
	18h	26	27	26,9	26,7	26	26,8	26,7	
TDS (mg/l)	6h	5852	5767	5876	5953	5778	5989	5987	≤ 1000
	12h	6750	6898	6895	6778	6974	6787	6888	
	18h	5910	5876	5989	6008	6019	5998	5993	
Salinité (%)	6h	0,49	0,47	0,50	0,49	0,53	0,52	0,45	$< 0,1$
	12h	0,55	0,62	0,54	0,57	0,51	0,56	0,59	
	18h	0,45	0,49	0,42	0,46	0,48	0,51	0,44	

Source : Auteur, 2015

Ces plusieurs valeurs ont été confrontées par rapport à la NORME DE POTABILITE MALAGASY du Décret n° 2004-635 du 15/06/04 du laboratoire DIRECTION EXPLOITATION EAU d'Antananarivo.

Les valeurs moyennes journalières de ces paramètres physiques sont calculées et illustrées dans les tableaux 13, 14 pour les deux puits.

Tableau 13: Moyenne des paramètres physiques de P3

Puits P3	Matin à 06h	Midi à 12h	Soir à 18h	Norme
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	8264	8871	8679	≤ 2000
Température ($^{\circ}\text{C}$)	24,7	28,1	25,7	15 à 25
TDS ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	8880	9766	8924	≤ 1000
Salinité(%)	0,55	0,77	0,64	$< 0,1$

Source : Auteur, 2015

Tableau 14: Moyenne des paramètres physiques de P4

Puits P4	Matin à 06h	Midi à 12h	Soir à 18h	Norme
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	7237	7967	7702	≤ 2000
Température ($^{\circ}\text{C}$)	25,1	28,2	26,6	15 à 25
TDS ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	5886	6853	5970	≤ 1000
Salinité (%)	0,49	0,56	0,46	$< 0,1$

Source : Auteur, 2015

D'après ces valeurs moyennes, nous constatons que le puits traditionnel P3 présente une marge de salinité supérieure par rapport au puits busé P4. C'est-à-dire que, les eaux souterraines issues de P3 présentent une quantité de sel dissoute plus importante que celles issues de P4. Cette différence de teneur en sel dissoute pour P3 et P4 explique la différence de saveur des eaux puisées dans ces deux puits. Ce qui est évident pour nous c'est que, P3 est plus influencé par l'intrusion marine parce qu'il est situé plus proche de la mer. Cependant, la température présente aussi une grande influence sur la salinité des eaux souterraines dans le Fokontany d'Ambola. Donc, nous allons présenter quelques données climatologiques pour expliquer ce phénomène.

II.1.2.1. Température

Les variations mensuelles de la température mesurée à la station de Betioky-Atsimo sont présentées dans le tableau 15.

Tableau 15: Température moyenne mensuelle de Toliara de 1996 à 2007

Année 96 à 07	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Déc
T moyennes [$^{\circ}\text{C}$]	28,4	28,5	28,1	26,3	23,8	21,9	21,4	22,1	23,2	24,8	26,7	27,8

Source : DGM, 2015

D'après ces données, la température moyenne mensuelle est assez élevée surtout aux mois de janvier, de février et mars de l'ordre de 28 °C et tend à s'abaisser jusqu'à 21°C au mois de juin et juillet puis remonte à 27,8°C jusqu'au mois de décembre.

II.1.2.2. Evapotranspiration réelle ou ETR

L'évapotranspiration est la perte d'eau par la transpiration des plantes et par l'évaporation du sol qui transforme l'eau en vapeur sous l'effet de la température. Les variations mensuelles de l'ETR sont calculées selon la méthode de Thornthwaite à la station de Betioky-Atsimo par la formule suivante : **DGM, 2015**

$$E_j = 16 \times \left(\frac{10 T_j}{I} \right) \times F\lambda$$

Avec :

E_j : Evapotranspiration mensuelle [mm] ;

T_j : Température [°C]

$F\lambda$: correction liée à la latitude (durée maxi de l'ensoleillement)

I : Somme des 12 indices thermiques mensuels

$$I = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1514}$$

Les résultats sont présentés par le tableau 16 ci-dessous.

Tableau 16: Evapotranspiration moyenne mensuelle de Toliara de 1996 à 2007

Année 96 à 07	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Ao	Sep	Oct	Nov	Déc
ETR [mm]	126,6	110,9	104	48	23	15	8	9	14	16	66	127,2

Source : DGM, 2015

Selon ses données, la région est soumise à une forte évapotranspiration de l'ordre de 104 mm à 127 mm durant les quatre mois, janvier, février, mars et décembre. C'est-à-dire, qu'une grande quantité d'eau est évaporé durant ces quatre mois.

Nous allons corréler les valeurs moyennes mensuelles de la température et de l'ETR ainsi que la moyenne journalière de salinité par des représentations graphiques (figure 26, 27).

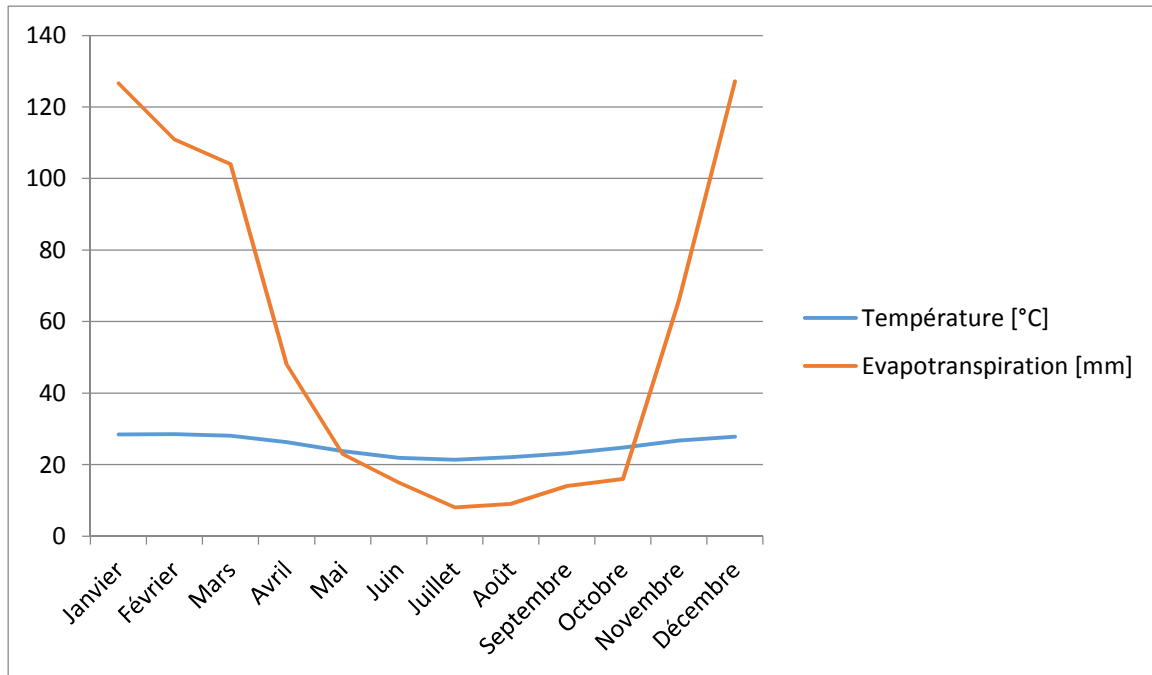


Figure 26: Variation moyenne mensuelle de T et ETR

Source : Auteur, 2015

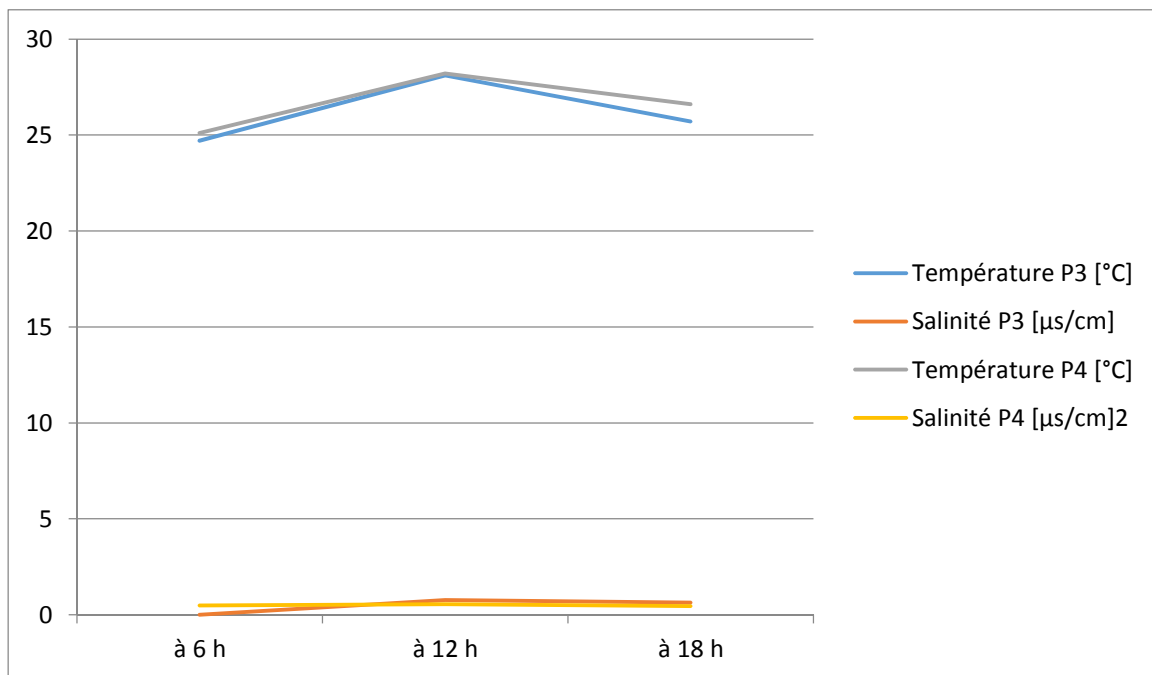


Figure 27: Variation moyenne journalière de T et la salinité

Source : Auteur, 2015

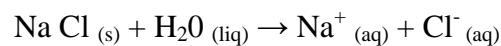
D'après la figure 26, on constate une forte ETR moyenne d'ordre supérieur à 100 mm, pour une température moyenne de 28 °C, de janvier jusqu'à mi-mars.



A partir de mi-mars, on observe une diminution progressive de la température jusqu'à une valeur minimum de 21°C au mois de juillet. Cette réduction de la température implique une chute considérable de l'ETR jusqu'à une valeur minimum de 8 mm.

Au début du mois d'Août, la température commence à croître jusqu'au mois de décembre, cette croissance progressive de la température est aussi marquée par une hausse brusque de l'ETR.

Effectivement, la variation temporelle de la température influe visiblement celle de l'ETR. Alors, durant cette période, une quantité considérable d'eau souterraine est évaporée sous l'effet de la température. Cette perte d'eau par évaporation augmente la concentration en sel dissout retenu dans les eaux souterraines. La figure 27 met en évidence ce phénomène par la variation journalière de la salinité des eaux dans des puits exploités par la population locale dans le Fokontany d'Ambola sous l'effet de la température. Prenons par exemple le sel le plus soluble du milieu marin, le chlorure de sodium en particulier ou NaCl.



L'équation ci-dessus présente la dissolution du chlorure de sodium dans l'eau, puis sous l'effet de la température, une partie de l'eau est évaporé ce qui entraîne l'augmentation de la concentration du sel $[\text{Na}^+]_{aq}$ et $[\text{Cl}^-]_{aq}$ retenu à l'état ionique dans cette dernière.

Ce processus dure en moyenne six mois par an, du mois de janvier au mois de mars et du début Octobre jusqu'au décembre.

Effectivement, la contamination saline est aussi favorisée par les conditions climatiques qui sont des facteurs naturels incontournables. Ces derniers conditionnent la pollution naturelle ou bien la salinité des eaux souterraines dans le Fokontany d'Ambola.

II.1.3. Résultats d'analyse physico-chimique (DEXO)

Pour l'analyse des paramètres physico-chimiques au laboratoire DEXO d'Antananarivo, le tableau 17 présente les résultats.

Tableau 17: Bulletin d'analyse physico-chimique (DEXO)

District	Toliara II	Date de prélèvement	15/02/15
Commune	Ambola	Date de réception	18/02/15
Fokontany	Efoetsy	Préleveur	Auteur
Nature de l'échantillon	Eau brute	Date d'analyse	18/02/15
Type d'échantillon	Eau souterraine	Usage	AEP
Paramètres	Examen au laboratoire		VMA N.M.
Aspect	Claire		Limpide
Odeur	Absence		Absence
Couleur	-		Incolore
Température, en °C	20,2		25
Turbidité, en NTU	4,63		5
pH	7,6		6,5 - 9
Conductivité à 20 °C en µS/cm	13520		3000
Minéralisation, en mg/l	12520		-
MES en mg/l	15		-
Paramètres		Valeurs	VMA N.M.
Dureté	TH, en °f	363	50
	TH Ca, en °f	84	-
Alcalinité	TA, en °f	0	-
	TAC, en °f	20	-
Chlore résiduel en mg/l	-		-
M.O.,mgO2/l	alcaline	1,5	2
	acide	-	5
Cations		mg/l	VMA N.M.
Calcium	Ca ⁺⁺	336	-
Magnésium	Mg ⁺⁺	677,97	-
Sodium	Na ⁺	2693,04	-
Potassium	K ⁺	-	12
Ammonium	NH ₄ ⁺	0,1	0,5
Fer	Fe ⁺⁺	-	0,5
Fer total	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	0	0,5
Manganèse	Mn ⁺⁺	-	0,05
Aluminium	Al ⁺⁺⁺	-	0,2



	Anions	mg/l	VMA N.M.
Carbonate	CO ₃ ⁻⁻	0	-
Bicarbonate	HCO ₃ ⁻⁻	244	-
Chlorures	Cl ⁻	6035	250
Sulfates	SO ₄ ⁻⁻	715,9	250
Nitrites	NO ₂ ⁻	0,18	0,1
Nitrates	NO ₃ ⁻	103,91	50
Phosphate	PO ₄ ⁻⁻⁻	-	5
Fluorures	F ⁻	-	1,5
Hydroxyde	OH ⁻	0	-
Substances toxiques		mg/l	VMA N.M.
Arsenics totaux As		-	0,05
Cyanures totaux CN		-	0,005
Chrome Cr ⁶⁺		-	0,05

Source : DEXO, 2015

Légende :

VMA : valeur maximale admissible pour eau potable ; N.M. : Norme Malagasy

M.O. : matières organiques (Oxydabilité au K Mn O₄)

°f : Degré français

II.1.3.1. Interprétation des paramètres physiques

a. Turbidité

Elle désigne la teneur d'un liquide en matières en suspension ou matières colloïdales d'origine minérale ou organique. Pour le cas de l'eau brute que nous avons prélevée dans le puits d'Ambola, la turbidité est d'ordre de 4,63 NTU ou Unité de Turbidité Néphélométrique. Ce dernier est encore acceptable par rapport à la valeur maximale admissible pour eau potable ou VMA N.M, d'ordre 5 NTU.

b. Potentiel hydrogène ou pH

Le potentiel hydrogène ou pH mesure l'activité chimique ou concentration active de l'espèce chimique dit ions hydrogènes ou H⁺ en solution aqueuse pour une température et pression donné. La valeur obtenue définit l'acidité ou basicité de la solution. D'après le résultat en laboratoire à une température de 25 °C et pression atmosphérique, nous avons un pH égal à 7,6 qui correspond à une solution basique et admissible selon VMA N.M.



c. Conductivité

La mesure de la conductivité de l'eau exprime sa capacité à conduire un courant électrique par mouvement ionique, elle s'exprime généralement en $\mu\text{S}/\text{cm}$ et varie proportionnellement avec la température. D'après le résultat d'analyse, nous avons une valeur largement excessive d'ordre de $13\,520\ \mu\text{S}/\text{cm}$ pour une température de $20\ ^\circ\text{C}$ par rapport à VMA N.M. Effectivement, elle est fortement conductrice donc fortement ionisée.

d. Minéralisation

La minéralisation totale exprime le taux de sels dissous, ou TDS de l'échantillon prélevé en mg/l . Ce dernier correspond à la somme des cations et des anions présents dans l'eau prélevé. D'après le résultat d'analyse, nous avons une minéralisation totale d'ordre de $12\,520\ \text{mg}/\text{l}$. C'est-à-dire que l'eau des puits exploités dans le Fokontany d'Ambola est fortement minéralisée.

e. Matières en suspension

Les matières en suspension ou MES englobent tous éléments en suspension dans l'eau dont la taille permet leur rétention sur un filtre de porosité donnée, puis il est pesé pour donner une valeur exprimée en mg/l . D'après le résultat d'analyse au laboratoire, nous avons $15\ \text{mg}/\text{l}$ de matière en suspension retenue par un filtre de $0,45\ \mu\text{m}$.

f. Titre hydrotimétrique

Le titre hydrotimétrique ou TH indique la teneur globale de l'eau en sel de calcium et de magnésium qui rendent l'eau dure. On distingue le TH total ou TH et le TH calcique ou TH Ca. Le TH total indique globalement la teneur des sels de Ca et de Mg. Le TH calcique indique globalement la teneur en sels de Ca ainsi que le TH magnésienne est la différence de TH et TH Ca.

Cependant, nous avons l'équivalence suivante : [02]

$$\text{°f} = \frac{1\ \text{m}\text{éq}}{5\ \text{l}} = \frac{M}{5v} \times \frac{10^{-3}\ \text{g}}{\text{l}} = \frac{M\ \text{mg}}{5v\ \text{l}}$$

Avec :

°f : Degré français

M : Masse atomique élément ou composé; M (Ca) : 40 et M (Mg) : 24,3 et M (HCO_3^-) : 61

v : valence égale à la charge

g. Titre alcalimétrique

Le titre alcalimétrique TA ou TAC indique les valeurs permettant de connaître les doses d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogénocarbonates alcalins contenus dans l'eau. L'alcalinité se mesure à l'aide d'une solution titrée acide en présence de phénolphtaléine ou titre alcalimétrique simple TA et ou de méthylorange ou titre alcalimétrique complet TAC. Le TA permet donc de déterminer la teneur en hydroxydes et seulement la moitié de celle en carbonate. Le TAC assure donc la détermination de la teneur en hydrogénocarbonates. Cependant, l'absence du virage rouge à incolore de la phénolphtaléine indique ceux des teneurs en hydroxyde et carbonate, donc nous avons $TA = 0$, et $TAC = 20$.

Le tableau 18 présente les correspondances des valeurs respectives des sels dissoutes par rapport à TA et TAC.

Tableau 18: Tableau de correspondance des sels dissoute par rapport à TA et TAC

Sels dissous	Valeur du °f en mg/l	Valeurs respectives des titres TA et TAC				
		TA = 0	2TA < TAC	2TA = TAC	2TA > TAC	TA = TAC
OH⁻	3,4					
Ca O	5,6					
Ca(OH)₂	7,4	0	0	0	2TA - TAC	TAC
Mg O	4					
Mg(OH)₂	5,8					
Na OH	8					
CO₃²⁻	6					
CaCO₃	10	0	2TA	TAC	2(TAC - TA)	0
MgCO₃	8,4					
Na₂CO₃	10,6					
HCO₃⁻	12,2					
Ca(HCO₃)₂	16,2	TAC	TAC - 2TA	0	0	0
Mg(HCO₃)₂	14,6					
Na(HCO₃)	16,8					

Source : DEXO, 2015

Ce tableau de correspondance ainsi que la formule ci-dessus nous a permis de calculer certaine valeur comme le calcium ou Ca^{2+} , le magnésium ou Mg^{2+} et le bicarbonate ou HCO_3^-

$$\text{HCO}_3^- = \frac{M}{5v} = \frac{61}{5 \times 1} = 12,2$$

$$\text{HCO}_3^- = 12,2 \times \text{TAC} = 12,2 \times 20 = 244 \text{ mg/l}$$

$$\text{TH Ca}^{\text{of}} = \frac{84 \times M}{5 \times V} = \frac{84 \times 40}{5 \times 2} = \frac{3360}{10} = 336 \text{ mg/l}$$

$$\text{TH}^{\text{of}} = \frac{(363 - 84) \times M}{5 \times V} = \frac{279 \times 24,3}{5 \times 2} = 677,97 \text{ mg/l}$$

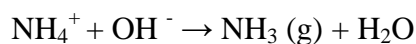
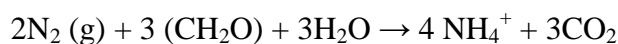
II.1.3.2. Interprétation des paramètres chimiques

La minéralisation des eaux souterraines dans les puits d'Ambola s'explique par plusieurs processus naturel, à savoir : le cycle de l'azote, la réaction avec les matières organiques, le lessivage et la contamination saline par le sel de mer.

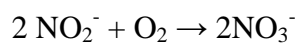
a. Cycle de l'azote

Pour notre cas, la pollution chimique résulte d'une teneur élevée d'azote inorganique comme l'ammonium ou NH_4^+ , les nitrites ou NO_2^- , les nitrates ou NO_3^- , l'ammoniac ou NH_3 . Ces derniers sont à l'origine d'une contamination par la pollution fécale. La décomposition et infiltration des matières fécales sont assimilées par les bactéries nitrifiantes qui transforment l'ammonium en nitrate puis en nitrite par consommation d'oxygène. De plus, pour une eau soumise à l'influence des contaminations salines de l'eau de mer, le pH est plutôt élevé, cela favorise la transformation de l'ammonium ou NH_4 en ammoniac gazeux ou NH_3 . Les réactions suivantes présentes la phase de fixation et nitrification par l'intervention des cyanobactéries.

(Azote gazeux) + (composé organique) + (eau) \rightarrow (ammonium) + (dioxyde de carbone)



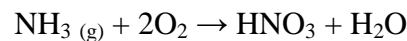
(Ammonium) $\text{NH}_4^+ \rightarrow$ (nitrite) $\text{NO}_2^- \rightarrow$ (nitrate) NO_3^-





Le processus de nitrification est principalement réalisé par des bactéries aérobies du genre *Nitrosomonas* ou *Nitrobacter*. Ces microorganismes fonctionnent de façon optimale lorsque la température se situe entre 30 et 36°C, lorsque la teneur en eau permet une aération suffisante et lorsque le pH est entre 6,8 et 8 [03]. Les ions nitrates sont très mobiles et hautement solubles, ils sont donc facilement transportés vers la nappe d'eau souterraine par lessivage. La présence d'Ammonium ou NH_4^+ peut également être due aux conditions réductrices régnant dans la nappe. Ce dernier joue le rôle d'aliment qui permet la prolifération de certaines bactéries.

Toutes ces bactéries sont autotrophes et aérobies strictes. Elles utilisent l'énergie produite par l'oxydation de l'ammoniaque et des nitrites pour réduire le carbone minéral provenant soit du gaz carbonique, soit des carbonates.

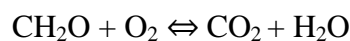


La nitrification tend à appauvrir les cours d'eau en oxygène, tout comme l'assimilation de la pollution organique.

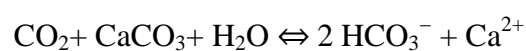
b. Réactions avec la matière organique

L'interaction chimique entre l'eau souterraine et la matière organique a une influence importante sur la composition en isotope du carbone des composés dissous de carbone inorganique. Les deux principaux processus sont, premièrement l'oxydation de la matière organique, avec formation de CO_2 et réactions chimiques successives avec le carbonate de la roche réservoir, et deuxièmement, la méthanogénèse.

L'oxydation de la matière organique à savoir, les restes des plantes peuvent survenir avec l'oxygène dissous d'une eau souterraine récemment rechargée ou à partir de la réduction du sulfate. Le carbone organique dans le sol ou plus profondément sous le sol s'oxyde comme nous montre l'équation suivant :



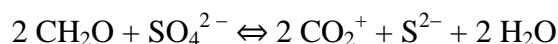
Ce CO_2 peut dissoudre le carbonate augmentant la concentration de carbone dissous CO_2 et HCO_3^-



Dans des sols renfermant de la matière organique, les eaux souterraines contiennent typiquement 12 à 24 mg de C par litre sous forme de carbone inorganique dissous.



La réduction du sulfate peut intervenir de la façon suivante



100 mg/L de SO_4 peut donner 91 mg/L de CO_2 correspondant à une augmentation maximum du bicarbonate.

c. Lessivage

Le lessivage est l'entraînement par l'eau de l'azote inorganique vers les nappes phréatiques. En pratique, seuls les nitrates sont lessivés, l'ammonium étant généralement immobile à cause de sa charge positive qui le retient au sol. Le lessivage est un processus physique basé sur les principes de convection et de diffusion [03] et dont l'ampleur varie selon les caractéristiques du sol tels la conductivité hydraulique et porosité. La quantité d'azote à lessiver dépend quant à elle, directement de l'ampleur de chacun des processus précédents et est donc indirectement fonction des mêmes facteurs climat, type de sol, rapport carbone/azote, teneur en eau, température, culture et pH.

d. Contamination saline des aquifères par le sel de mer

La contamination saline des aquifères littoraux poreux par le sel de mer dans le Fokontany d'Ambola a été traduite par les études effectuées par Ghyben et Herzberg vers la fin du XIX^{em} siècle. Selon leurs hypothèse, l'eau douce est plus légère que la mer compte tenu de la densité alors elle flotte sur l'eau de mer avec un contact incliné assimilé à un plan. L'interface dont la position est liée à la différence de densité des deux milieux qui sont d'ordre de 1 pour l'eau douce et environ d'ordre de 1,025 pour l'eau de mer. À l'équilibre, le poids de la colonne d'eau douce est égal au poids de la colonne d'eau de mer dont la position du contact entre les deux milieux est définit par la loi de Ghyben-Herzberg suivante : [04]

$$\sigma_1 (P + H) = \sigma_2 P$$

$$P = 40 \times H$$

Avec ;

P : profondeur de l'interface ;

H : charge hydraulique (ou niveau piézométrique) ;

σ_1 : densité eau douce ;

σ_2 : densité eau de mer.

En réalité, un mélange se produit par diffusion, c'est-à-dire une tendance naturelle d'un système à rendre homogènes les concentrations des espèces chimiques. Cependant, ils ne sont pas purement statiques car les nappes d'eau s'écoulent et la mer est soumise aux oscillations des marées. Effectivement, les deux milieux peuvent donc se mélanger et former au milieu une frange d'eau saumâtre d'épaisseur variable. Par ailleurs, l'anisotropie de l'aquifère se traduit par des variations du gradient hydraulique qui transforment l'interface en une surface digitée complexe. De plus, l'évapotranspiration élevée dans la région abaisse le niveau piézométrique permettant une remontée de l'interface et l'infiltration saline significative. L'exploitation d'eau par puisage dans des puits modifie aussi les charges hydrauliques et entraîne l'établissement d'un nouvel équilibre résultant la migration du biseau salé. Elle provoque une remontée verticale du biseau salé sous les puits (figure 28, 29), voisine de 40 fois la baisse de la nappe. Effectivement, le débit doit donc être ajusté très précisément pour limiter le rabattement et contamination saline.

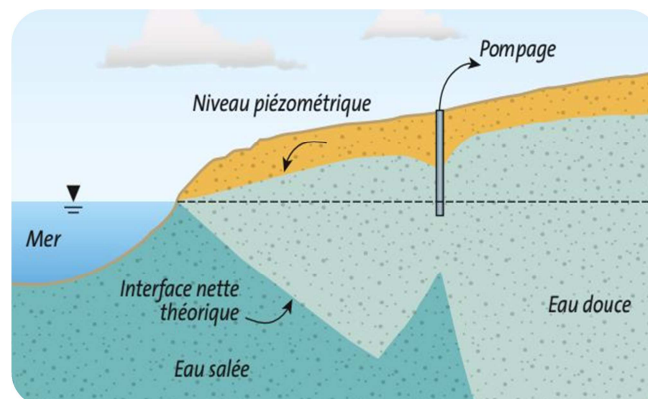


Figure 28: Mouvement du biseau salé sous l'effet de pompage

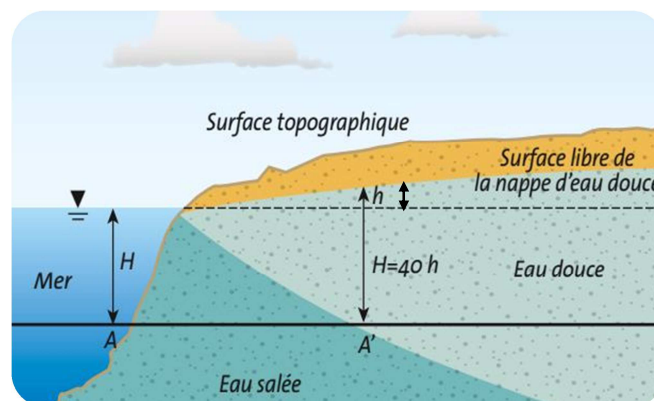


Figure 29: Etat d'équilibre du biseau salé en zone littorale

Source : [04]



II.1.4. Bulletin d'analyse bactériologique (DEXO)

Pour la recherche des germes indices de pollution fécaux comme : Coliformes totaux, *Escherichia coli*, streptocoques fécaux par la méthode par filtration et l'ASR par la méthode par incorporation, les paramètres suivants sont considérés à savoir :

- le type de milieu de culture
- la température d'incubation
- le temps d'incubation
- et le volume d'eau utilisé pour l'analyse.

Pour le premier germe, la Coliformes totaux, le milieu de culture utilisé est la gélose lactosée ou TTC au-dessus du quelle, la membrane filtrante obtenu après la filtration est placée délicatement et le tout enfermé dans une boîte de PETRI. Par la suite, incubé pendant 24 h dans une étuve à une température de 37°C. Après l'incubation, la présence des germes Coliformes totaux est indiquée par l'apparition des 11 colonies de germe colorée en jaune sur la membrane filtrante que présente la figure 30.

Pour le second germe, l'*Escherichia coli*, le procédé de recherche est le même que pour la Coliforme totaux, sauf pour la température d'incubation 44°C. Après incubation, la présence des germes *Escherichia coli* est indiquée par l'apparition d'un germe coloré en jaune sur la membrane filtrante que présente la figure 31.

Le troisième germe est les streptocoques fécaux, dont le milieu de culture est la Gélose Slanetz et bartley. Incubé comme les deux précédents, mais pendant 48 h à 37°C. Après incubation, la présence des germes streptocoques fécaux est indiquée par l'apparition de 37 germes colorés en rouge sur la membrane filtrante que présente la figure 32.

Le quatrième et dernier germe est l'Anaérobies Sulfite-Réducteurs ou ASR qui sont déterminés par la méthode par incorporation dans un tube dont le milieu de culture est une Gélose tryptome sulfite. L'échantillon est incorporé dans la gélose puis incubé pendant 24 h à 37°C. Après incubation, la présence des germes Anaérobies Sulfite-Réducteurs est indiquée par l'apparition des indénombrables taches noires à l'intérieure de la gélose que présente la figure 33.


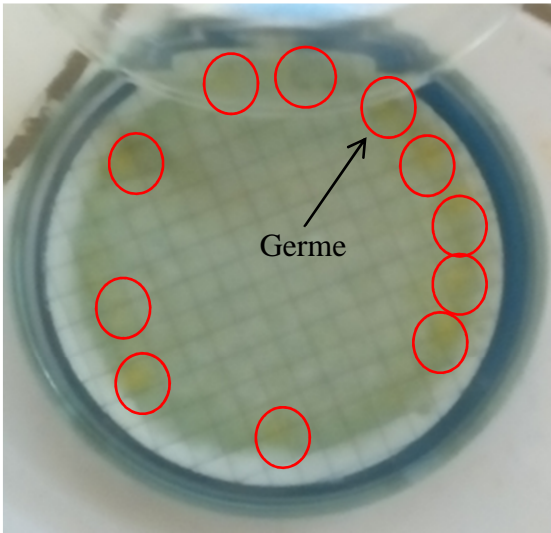
GERME RECHERCHE : Coliformes totaux ou CT			
Milieu utilisé	Temps d'incubation (h)	T° d'incubation (°C)	Volume de PE (ml)
Gélose lactosée au TTC	24	37	1 / 100
Etat initiale		Etat finale	
			
Identification		Taches jaunes	
Nombre de germe		11	

Figure 30: Germes indice de coliformes totaux

Source : Auteur, 2015

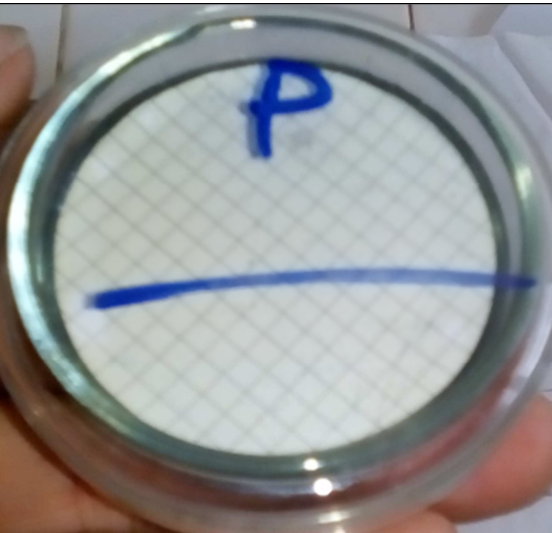
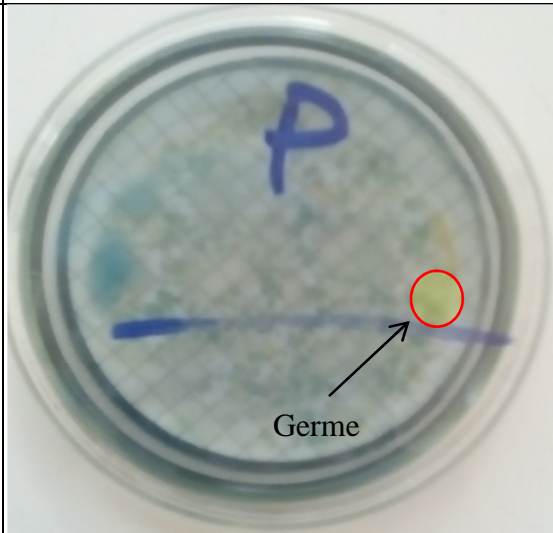
GERME RECHERCHE : Escherichia coli ou EC			
Milieu utilisé	Temps d'incubation (h)	T° d'incubation (°C)	Volume de PE (ml)
Gélose lactosée au TTC	24	44	1 / 100
Etat initiale		Etat finale	
			
Identification		Taches jaunes	
Nombre de germe		1	

Figure 31: Germe indice de l'Escherichia coli

Source : Auteur, 2015

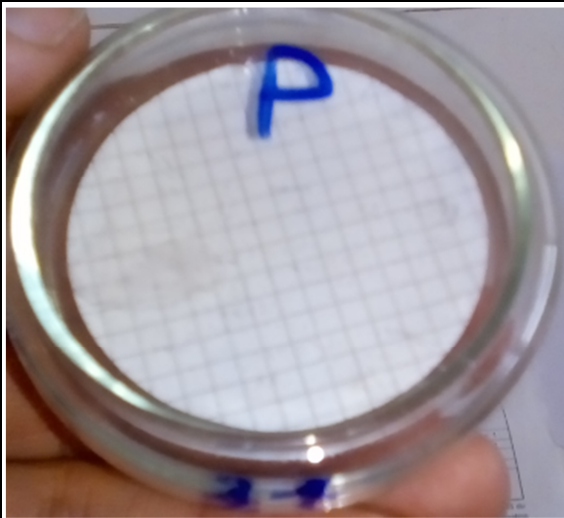
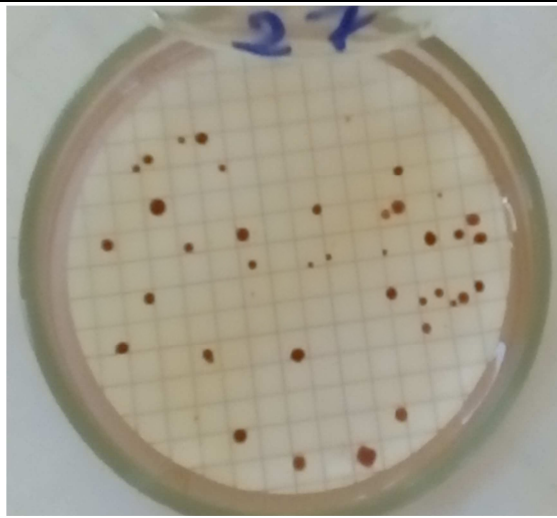
GERME RECHERCHE : Streptocoques fécaux ou SF			
Milieu utilisé	Temps d'incubation (h)	T° d'incubation (°C)	Volume de PE (ml)
Gélose Slanetz et bartley	48	37	50 /100
Etat initiale		Etat finale	
			
Identification		Traces rouges	
Nombre de germe		37	

Figure 32: Germe indice de Streptocoques

Source : Auteur, 2015

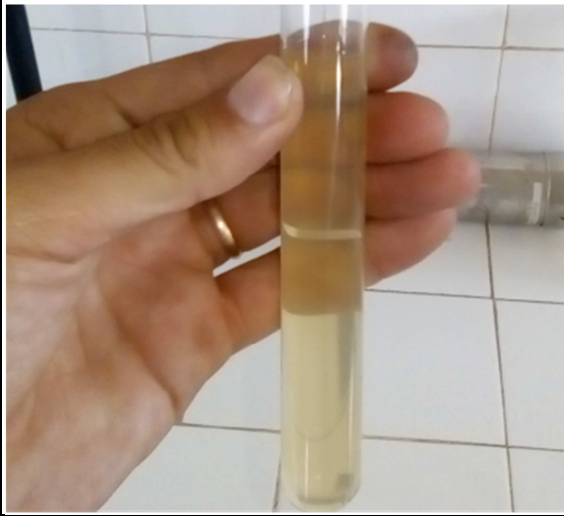

GERME RECHERCHE : Anaérobies Sulfito-Réducteurs ou ASR			
Milieu utilisé	Temps d'incubation (h)	T° d'incubation (°C)	Volume de PE (ml)
Gélose tryptome sulfite	24	37	1/20
Etat initiale		Etat finale	
			
Identification		Taches noires	
Nombre de germe		Indénombrable	

Figure 33: Germe indice d'ASR

Source : Auteur, 2015

Les résultats ci-dessus témoignent la présence des germes qui sont les indices d'une pollution fécale. Le tableau 19 présente la méthode de dénombrement des germes par le laboratoire d'analyse DEXO ainsi que les normes de potabilités pour une eau brute du puits d'Ambola.

Tableau 19: Bulletin d'analyse bactériologique de l'eau souterraine d'Ambola

Germes recherchés	Valeurs trouvées		Normes
Coliformes totaux	11×100	$1,1 \times 10^3$	$< 5 \times 10^1$
Escherichia coli	1×100	1×10^2	$< 2 \times 10^1$
Streptocoques fécaux	37×50	$1,85 \times 10^3$	$< 2 \times 10^1$
ASR	in	indénombrable	-

Source : DEXO, 2015

D'après le résultat d'analyse bactériologique de l'eau souterraine d'Ambola, on y constate que l'eau étudiée est polluée par les germes fécaux, notamment, les coliformes totaux, l'Escherichia coli, les Streptocoques fécaux, et l'ASR à des degrés variés mais dépassant largement les normes de potabilités. Ces bactéries sont généralement pathogènes pour l'homme sur tous les enfants en causant les différentes maladies qui touchent la totalité des villageois dans le Fokontany d'Ambola. Cette pollution s'explique en grande partie par la présence des excréments humains et animaux observées en proximité de tous les sites d'étude.

II.2. Résultat des enquêtes sur terrain

L'enquête sur terrain débute par un regroupement constitué des représentants du Fokontany présentés par le chef Fokontany, de l'autorité traditionnelle par le Olobe, et quelques hommes du village que nous présentons sur la figure 34.



Figure 34: Entretien avec les villageois d'Ambola

Source : Auteur, 2015

II.2.1. Résultats des enquêtes sur les maladies d'origine hydrique

Selon l'enquête que nous avons réalisée dans le Fokontany d'Ambola, nous n'avons pas pu enquêter la totalité des ménages à cause du rythme de leurs activités journalières, car les hommes sont occupés par la pêche toute la journée tandis que les femmes s'occupent de la commercialisation. Cependant, seulement douze ménages ont été enquêtés correctement selon les critères nécessaires suivantes à savoir : les caractéristiques des ménages (tableau 20), les maladies les plus fréquent (tableau 21), la vulnérabilité des victimes (tableau 22). Le tableau 23 présente les résultats d'enquêtes au niveau de la CSB II Efoetsy.

Tableau 20: Caractéristiques des ménages enquêtés

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
Nombre total	7	6	7	6	8	7	6	6	8	7	7	7
Homme	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	3	2
Femme	2	3	2	3	3	3	3	2	3	3	2	3
Enfant moins de 5 ans	3	2	3	2	3	2	1	3	3	3	2	2
Adulte plus de 50 ans	1	1	-	-	1	2	1	1	2	1	2	1

Source : Auteur, 2015

Légende : M 1: échantillons de ménage numéro 1

Tableau 21: Maladies les plus fréquentes

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12
Bilharziose	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+
Typhoïde	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Infection cutanée	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Infection pulmonaire	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Infection urinaire	-	-	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Insuffisance rénale			+					+				
Méthémoglobinémie	+		+		+		+	+	+			
Hypertension artérielle						+			+		+	
Calcification vasculaire						+			+		+	

Source : Auteur, 2015

Légende: M 1: échantillons de ménage numéro 1

+ : Présence dans la famille et - : Absence dans la famille

La vulnérabilité des victimes est comptée selon le nombre de fréquence de ce dernier pour une maladie considérée.

Tableau 22: Vulnérabilité des victimes

	Enfant	Adulte	Agée
Bilharziose	++	+	
Typhoïde	++	+	
Infection cutanée	++	+	
Infection pulmonaire	+	+	
Infection urinaire	+	++	
Insuffisance rénale			+
Méthémoglobinémie		+	
Hypertension artérielle			+
Calcification vasculaire			+

Source : Auteur, 2015

Légende : + : Vulnérable

++ : plus vulnérable

Les enfants sont plus vulnérables par la bilharziose, la typhoïde, les infections cutanée et pulmonaires que les adultes alors que les personnes âgées souffrent d'insuffisance rénale, d'hypertension artérielle et de calcification vasculaire.

Tableau 23: Maladies d'origine hydrique et nombre de victime au niveau du CSB II

CSB II Efoetsy	Maladies les plus rencontrés									Σ	Victimes		
	B	T	IC	IP	IU	IR	M	HA	CV		E	A	PA
Déc 2014 à Jan 2015													
Nombre de victime	18	19	35	26	12	9	18	8	12	157	57	51	49
Pourcentage	11,5	12,1	22,3	16,7	7,6	5,7	11,5	5,1	7,6	100	36,3	32,5	31,2

Source : Auteur, 2015

Légende :

B: Bilharziose; T: Typhoïde; IC: Infection cutanée; IP: Infection pulmonaire;

IU : Infection urinaire ; IR : Insuffisance rénale ; M : Méthémoglobinémie

HA : Hypertension artérielle ; CV : Calcification vasculaire.

E : Enfant ; A : Adulte ; PA: Personnes âgées

Selon ces données, chaque ménage enquêté contient en moyenne, sept personnes tels, deux hommes et trois femmes, deux enfants moins de cinq ans et un adulte plus de cinquante ans. Presque tous les ménages enquêtés notamment les enfants souffrent de ces maladies d'origine



hydrique à savoir, la bilharziose, la typhoïde, les différentes comme l'infection cutanée, l'infection pulmonaire, et l'infection urinaire. Cependant la plupart des maladies comme l'insuffisance rénale, l'hypertension artérielle, et la calcification vasculaire sont les moins détecté sur le Fokontany d'Ambola sauf pour les personnes âgées.

Encore que, d'après les archives enregistrées du mois de décembre 2014 et janvier 2015 auprès du CSB II d' Efoetsy, ce dernier enregistre 157 nombres de victime. La majorité de ces malades viennent tous du Fokontany d'Ambola. Elles présentent 22,3 % victimes d'infection cutanée qui est le maladie le plus dominant de tous, puis après 16,7 % victimes d'infection pulmonaire, 12,1 % victimes de la typhoïde, 11,5 % victimes de la bilharziose et méthémoglobinémie, 7,6 % victimes d'infection urinaire et calcification vasculaire 5,7 % victimes d'insuffisance rénale et en fin 5,1 % victimes d'hypertension artérielle. Parmi toutes ces victimes, 32,5 % sont des enfants, 36,3 % sont des personnes âgées et 32,5 % sont des adultes.

II.2.2. Résultats des enquêtes sur l'évaluation du besoin en eau

II.2.2.1. Nombre total de la population

En tenant compte d'un taux d'accroissement d'ordre de 2,5% du PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUE - INSTAT, 1993-2030. L'évolution de la population du village concerné par cette étude est présentée dans le tableau 24 qui suit :

Tableau 24: Accroissement annuel de la population dans le Fokontany d'Ambola

Année	2015	2020	2025	2030
Nb de population	581	657	744	841

Source : [01]

II.2.2.2. Estimation des besoins en eau potable de la population

La méthode utilisée se base sur le volume de stockage d'eau, leur rythme de remplissage journalier ainsi que leur mode d'usage journalier. Le tableau 25 présente les résultats des vérifications du besoin spécifique journalier en eau de douze poignés de ménage enquêté dans le Fokontany d'Ambola.

Tableau 25: Evaluation du besoin spécifique et mode d'usage d'eau

		M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈	M ₉	M ₁₀	M ₁₁	M ₁₂
Type de stockage commun		Bidon de 20 litres											
Rythme de remplissage (nb bidon/j)		3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3
Usage	Boisson	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	Cuisson	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Source : Auteur, 2015

Légende : M₁: échantillon de ménage numéro 1 ; + : Type d'usage choisi.

D'après le résultat de l'enquête, un ménage consomme en moyenne 3 à 4 bidons de 20 litres par jour réservé seulement pour les besoins essentiels comme la boisson et la cuisson. Alors pour un nombre moyen de sept (7) personnes par ménage, ce type de besoin est estimé en moyenne d'ordre de 10 l/j/hab.

L'estimation des besoins en eau potable du village d'Ambola à l'horizon de 15 années, de l'année de référence 2015 jusqu'au 2030 sont présentée dans le tableau 26 ci-dessous.

Tableau 26: Besoins en eau potable de la population

Année	2015	2020	2025	2030
N (hab)	581	657	744	841
C_j (l/j)	5810	6570	7440	8410
Q_u (l/j/hab.)	10			

Source : Auteur, 2015

Légende :

C_j : Besoin journalier de la population (l/j)

Q_u : Débit unitaire par habitant (l/j/hab)

N : Nombre de population (hab)

Le débit moyen journalier exprime le débit prélevé par les consommateurs par seconde qui d'après le calcul nous avons $Q_{mj} = 0,1$ (l/s)

Pour un taux d'accroissement d'ordre de 2,5% de la population du Fokontany d'Ambola, et un débit unitaire moyenne estimé à 10 l/ j/hab, le besoin moyen journalier est d'ordre de 5,8 m³/j pour l'année de référence 2015 et estimé à 8,4 m³/j à l'horizon 2030.

Le tableau 27 suivant présent les résultats des calculs du volume puisé V_p , le débit de pointe par tranche Q_p , et le coefficient de pointe C_p .

Tableau 27: Etude du besoin en eau par tranche d'heure

Horaires [h]	[5-9]	[12-14]	[15-19]	Total
Durée T [h]	4	2	4	10
Coefficient de consommation K_c [%]	0,4	0,2	0,4	1
Volume puisé V_p [l]	3364	1682	3364	8410
Débit de pointe par tranche Q_p [l/s]	0,23	0,23	0,23	
Débit de pointe Q_p [l/s]	0,23			
Coefficient de pointe C_p	2,37			

Source : Auteur, 2015

II.2.3. Résultat de l'évaluation du prix d'achat d'eau

Selon les vendeurs, le prix de vente de l'eau dépend de la qualité en termes de salinité et de la distance de puisage. Le tableau 28 présente les prix de vente des eaux d'après les vendeurs.

Tableau 28: Prix de vente d'eau par les vendeurs (Ar/bidon)

Eau	d'Efoetsy	de Ranofotsy	de Tsimanampetsotsa
Qualité	Peu saumâtre	Peu saumâtre	un peu doux
Distance	Moins de 1 Km	2.5 Km	7.5 km
Prix d'achat (Ar/bidon)	200 - 300	300 - 400	500

Source : Auteur, 2015

Le coût d'achat d'eau douce est trop cher, sur tout venant du lac Tsimanampetsotsa dont la qualité est meilleure par rapport à celui de Ranofotsy et d'Efoetsy qui sont peu saumâtre. Par contre, il est à 7,5 km du village, son puisage nécessite une charrette tirée par un bœuf ou par des hommes. Ces difficultés de puisage expliquent son coût d'achat plus élevé et qui ne convient pas au niveau de vie des villageois mais ils font des sacrifices pour l'acheter.

Selon les ménages enquêtés, la majorité ont opté pour le tarif volumétrique évalué à 200 Ar/bidon (Un bidon = 20 litres). Ces résultats sont illustrés dans le tableau 29 :

Tableau 29: Capacité de payer l'eau

Capacité à payer pour le tarif volumétrique	Nombre de ménage	Pourcentage
200Ar/Bidon	9	75%
> 200Ar/Bidon	3	25%
TOTAL	12	100%

Source : Auteur, 2015

D'après ces résultats, la majorité des ménages enquêtés ont opté pour un tarif volumétrique de 200 Ariary le bidon de 20 litres. Seulement le restaurant du domaine d'Ambola ainsi que quelque ménage optent pour le prix supérieur.

L'achat d'eau présente une charge lourde pour la majorité des ménages dans le Fokontany d'Ambola. La perte de temps pour le puisage, la fatigue par le transport d'eau, ainsi que les maladies d'origines hydriques telles sont les difficultés incontournables que la population d'Ambola doit faire face chaque jour pour s'approvisionner en eau.

II.3. Résultats des études de reconnaissance hydrogéologique

II.3.1. Résultats de la récupération des cutting par forage

Par les récupérations séquentielles des cutting dans le bassin de décantation du forage, nous avons pu reconstituer les données lithologiques du sol pour former un log représentatif du système aquifère de notre zone d'étude. Les deux figures 35 et 36 ont été traitées par le logiciel Rockwork et présentent respectivement les logs issus du forage P1 et P4.

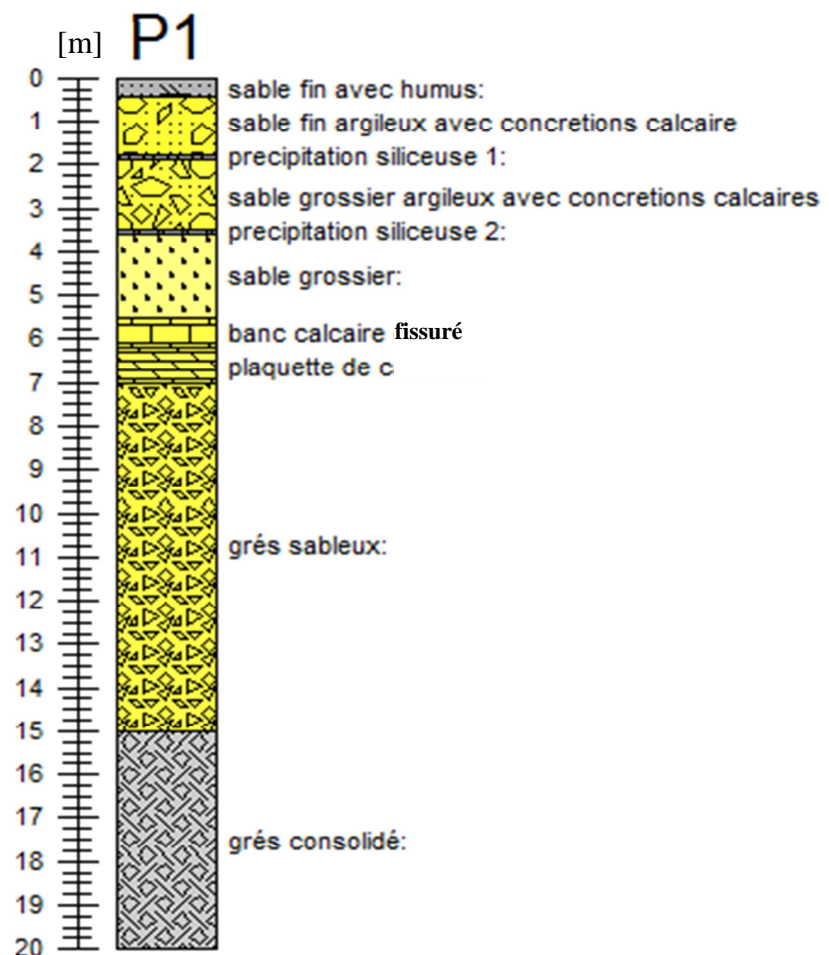


Figure 35: LOG représentatif du forage P1

Source : Auteur, 2015

Pour le forage P1, de diamètre 0,25 m, nous avons rencontré quatre venues d'eau dont les types de nappe et types d'aquifère ainsi que quelques caractéristiques sont présentés par le tableau 30.

Tableau 30: Caractéristique de P1

P1		Type de nappe	Type d'aquifère
1 ^{ère} venue d'eau		Nappe libre	Sable fin argileux
2 ^{ème} venue d'eau		Nappe captive	Sable grossier argileux
3 ^{ème} venue d'eau		Nappe captive	Sable grossier
4 ^{ème} venue d'eau		Nappe captive	Grés sableux

Elévation	Coordonnées		Profondeur	Niveau statique	Colonne d'eau	Diamètre
14 m	43°41'38,7"E	24°04'25,8"S	20 m	4 m	16 m	0,25 m

Source : Auteur, 2015

P1 est un forage de profondeur 20 mètres, de niveaux statique 4 mètres et de colonne d'eau d'ordre de 16 mètres. Parmi ces quatre venues d'eau, deux nappes sont potentiellement exploitables compte tenu du type d'aquifère et son épaisseur à savoir : c'est la nappe de sable grossier d'épaisseur 1,5 mètres et la nappe de grés sableux d'épaisseur 8 mètres dont le substratum est une couche de grés consolidés d'ordre 5 mètre.

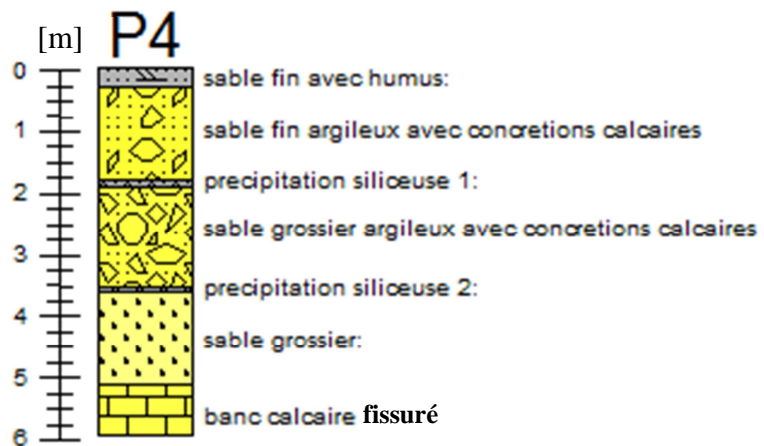


Figure 36: LOG représentatif du forage P4

Source : Auteur, 2015

Le forage P4, de diamètre 0,25 m, est la restriction du forage P1. Alors nous avons trouvé trois venues d'eau dont les types de nappe et types d'aquifère sont présentés par le tableau 31.

Tableau 31: Caractéristique de P4

P4		Type de nappe	Type d'aquifère			
1 ^{ère} venue d'eau		Nappe libre	Sable fin argileux			
2 ^{ème} venue d'eau		Nappe captive	Sable grossier argileux			
3 ^{ème} venue d'eau		Nappe captive	Sable grossier			
Elévation	Coordonnées	Profondeur	Niveau statique	Colonne d'eau	Diamètre	
12 m	43°40'45,0"E 24°04'24,7"S	5 m	4 m	1 m	0,18 m	

Source : Auteur, 2015

P4 est un forage de profondeur 5 mètres, de niveaux statique 4 mètres et de colonne d'eau d'ordre de 1 mètre. C'est la nappe de sable grossier dont le substratum est un banc calcaire fissuré d'une épaisseur d'ordre 0,7 mètre.

II.3.2. Résultats du rainurage des puits traditionnels

Par rainurage des puits traditionnels à savoir P2 et P3, nous avons prélevé, identifié et reconstitué les différentes couches lithologiques pour former un log représentatif du système aquifère. Les deux figures 37 et 38 ci-dessous ont été traitées par le logiciel Rockwork.

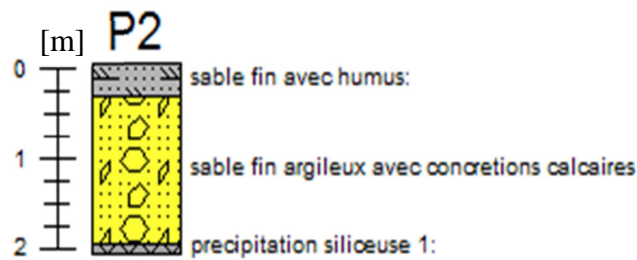


Figure 37: LOG représentatif du puits traditionnel P2

Source : Auteur, 2015

Le puits traditionnel P2 de diamètre 1,5 m ne présente qu'une seule venue d'eau dont les caractéristiques sont présentées par le tableau 32.

Tableau 32: Caractéristique de P2

P2		Type de nappe	Type d'aquifère			
1 ^{ère} venue d'eau		Nappe libre	Sable fin argileux			
Elévation	Coordonnées	Profondeur	Niveau statique	Colonne d'eau	Diamètre	
12 m	43°40'48,1"E 24°04'26,1"S	1,75 m	1,5 m	0,25 m	1,5 m	

Source : Auteur, 2015

P2 est un puits traditionnel de profondeur seulement 1,75 mètres, avec un niveau statique de 1,5 mètre, alors la colonne d'eau est d'ordre de 0,25 mètres. C'est la nappe de sable fin argileux avec des concrétions de calcaire et des débris de coquilles dont le substratum est un

sable grossier argileux tapissé d'une précipitation siliceuse imperméable d'une épaisseur d'ordre de 0,1 mètre.

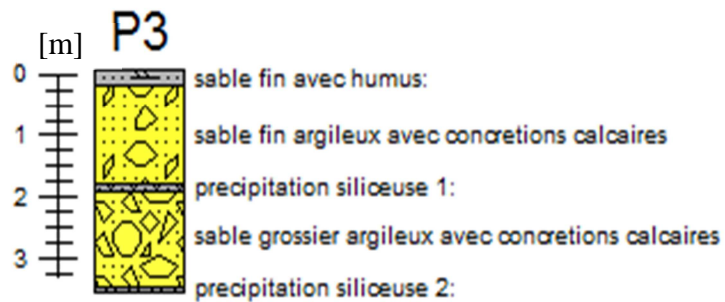


Figure 38: LOG représentatif du puits traditionnel P3

Source : Auteur, 2015

Le puits traditionnel P3 de diamètre 1,5 m présente deux venues d'eau dont les caractéristiques du système aquifère sont présentées par le tableau 33.

Tableau 33: Caractéristique de P3

P3		Type de nappe		Type d'aquifère	
1 ^{ère} venue d'eau		Nappe libre		Sable fin argileux	
2 ^{ème} venue d'eau		Nappe captive		Sable grossier argileux	
Elévation	Coordonnés	Profondeur	Niveau statique	Colonne d'eau	Diamètre
11 m	43°40'32,8"E 24°04'32,7"S	3 m	2,5 m	0,5 m	1,5 m

Source : Auteur, 2015

P3 est un puits traditionnel, de profondeur 3 mètres, de niveau statique 2,5 mètres alors la colonne d'eau est d'ordre de 0,5 mètres. C'est la nappe de sable grossier argileux avec des concrétions calcaires et débris de coquille dont le substratum est une deuxième couche de sable grossier tapissé d'une précipitation siliceuse imperméable d'une épaisseur d'ordre de 0,1 mètre

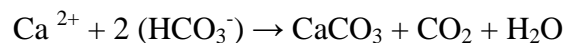
D'après ses données, nous pouvons constater que les nappes d'eau souterraine trouvées dans le Fokontany d'Ambola sont peu profondes d'ordre de 2 à 20 mètres avec dominance de sable argileux et de roche calcaire. Nous pouvons constater aussi au cours des études de reconnaissance hydrogéologique, une répétition similaire des couches trouvées dans les puits et forages effectués dans le Fokontany d'Ambola. Cette mode de placement des couches exprime plusieurs principes à savoir la continuité des couches et le principe de superposition lors du stade de formation. C'est-à-dire que les couches lithologiques sont en bandes continues et ne présentent aucune interruption lors de leurs formations. Les couches de grés sont les plus anciennes avec une épaisseur plus de 13 mètres qui signifie un large temps de déposition. Ce sont des roches détritiques issues d'une agrégation suivie de cimentation ou



diagenèse de grain de sable. Ce dernier est subdivisé en deux de sorte que, la partie inférieure est soumise à une forte compaction à cause de la surcharge ce qui explique sa consolidation.

Les couches de calcaire que nous avons trouvé dans notre zone d'étude sont des roches sédimentaires issues des dépôts marins à l'origine d'une transgression marine. C'est-à-dire qu'ils sont formés en milieu marin par la précipitation du carbonate de calcium issue d'une forte accumulation de coquilles ou de carapaces calcaires. Effectivement, ils sont composés majoritairement de carbonate de calcium ou CaCO_3 mais aussi de carbonate de magnésium ou Mg CO_3 .

Le carbonate de calcium ou CaCO_3 résulte de la précipitation d'ion dissout. Ce processus est aussi facilité par les organismes à coquilles ou carapaces comme: mollusques, oursins, coraux, et algues planctoniques. L'équation ci-dessous montre la réaction de précipitation des ions calcium ou Ca^{2+} et ion bicarbonate ou HCO_3^- pour former le carbonate de calcium suivi d'un dégagement de dioxyde de carbone en milieu aqueux.



Les couches de sable grossier marquent une période de régression marine qui est suivie d'un transport et accumulation des dépôts.

Les couches de sable argileux avec des concrétions calcaires résultent d'une accumulation de dépôt mixte causé par une alternance successive de transgression et régression marine. Les concrétions calcaires sont à l'origine d'une dissolution des coquilles ou de carapaces calcaires des dépôts marins.

En général, selon les études de reconnaissances hydrogéologiques, nous constatons que, notre zone d'étude est abondante en ressources en eau souterraine peu profonde d'ordre de 5 à 20 mètres. De plus, le système aquifère est généralement constitué de sable argileux et de roche calcaire favorisant respectivement toute infiltration et une forte minéralisation.

Sur la base de la carte géologique (figure 6), et du profil topographique (figure 5) ainsi que les logs représentatifs des puits et forages (figure 35, 36, 37, 38) issues de l'étude de reconnaissance hydrogéologique dans la zone d'étude, nous allons présenter une coupe géologique (figure 46) de la zone d'étude en annexe 7. Cette dernière met en évidence les systèmes aquifères qui régissent les dispositions des ressources en eaux souterraines exploitées dans le Fokontany d'Ambola.

II.3.3. Résultats de l'évaluation du débit théorique

La méthode Authossère résulte d'un essai de pompage par palier à courte durée jusqu'à l'obtention de la stabilité. En se référant à l'application de cette méthode, nous avons considéré les deux aquifères de nature lithologique, sable grossier et grès sableux à grain moyen qui sont la troisième et quatrième venue d'eau les plus significatives.

Pour l'évaluation de la transmissivité, à partir du tableau d'Authossère, nous avons considéré l'hypothèse la plus basse. C'est-à-dire, l'aquifère le moins important selon le tableau d'Authossère (tableau 6) qui est de type sables argileux à grains moyens à grossiers, avec une valeur de transmissivité d'ordre 5×10^{-4} [m²/s] disposant d'un débit spécifique estimé à 1,316 m³/h/m.

Le tableau 34, présente les caractéristiques hydrodynamiques de la nappe d'eau souterraine que nous avons considérée par l'application de la méthode Authossère. Le niveau statique ainsi que la profondeur totale sont déterminés par la sonde de niveau (figure 9) qui est respectivement de l'ordre de 4 et 20 mètres.

Tableau 34: Caractéristiques hydrodynamiques du forage P1 par la méthode Authossère

Ouvrage	Coordonnées	Diamètre en mm	Pt en m	T en m ² /s	Ns en m	H en m	s en m	Qs en m ³ /h/m	Qexp en m ³ /h
Forage	43°40'45,0"E 24°04'24,7"S	254	20	5×10^{-4}	4	16	10,67	1,32	14,04

Source : Auteur, 2015

Légende :

Pt : profondeur totale ; T : transmissivité ; Ns : niveau statique ; H : colonne d'eau

s : rabattement ; Qs : débit spécifique ; Qexp : débit d'exploitation

Sur la base de ces paramètres, c'est-à-dire, un forage de profondeur 20 mètres, de niveau statique 4 mètres avec une transmissivité de l'ordre de 5×10^{-4} [m²/s] selon le tableau d'Authossère, le calcul nous donne un débit d'exploitation estimé à 14,04 m³/heure avec un rabattement maximal d'ordre de 10,67 mètre. Les détails de calcul pour l'application de la méthode Authossère sont présents en annexe 2.

Après avoir présenté tous les résultats de notre étude, ainsi que ces interprétations dans la deuxième partie de notre travail, nous allons continuer la troisième partie par la discussion et proposition pour remédier à ces fléaux.

Troisième partie

LA DISCUSSION ET PROPOSITIONS



Cette partie constitue la discussion sur les travaux que nous avons effectués. Il est ainsi discuté successivement des méthodes utilisées, puis des différents résultats obtenus et enfin des propositions vis-à-vis de ces résultats et la situation par rapport à l'eau des populations dans le Fokontany d'Ambola.

III.1. Discussion

III.1.1. Discussion sur les méthodes

Comme constaté dans le présent travail, nous avons utilisé plusieurs méthodes à savoir, les enquêtes, les analyses physico-chimiques et bactériologiques, ainsi que les travaux de forage. Les enquêtes s'agissent notamment de collecter des données basées sur l'analyse de la qualité de l'eau, sur les maladies d'origine hydrique, sur les sources de pollution des eaux.

Cependant, l'analyse de certains paramètres physiques tels : la température de l'eau, la salinité et la conductivité a été effectuée sur site par la méthode expérimentale en utilisant un thermomètre et conductimètre portable dans le but d'évaluer la variation journalière de la salinité des eaux souterraines en fonction de la variation de la température et la distance des puits par rapport à la mer. Mais aussi certains paramètres organoleptiques comme l'odeur qui peut disparaître pendant le transport, ou l'aspect de l'échantillon se modifie au cours du stockage, ou l'apparition de coloration ou de précipitation, ont été déterminés aussi sur site.

Tous ces différents paramètres physiques ont été expérimentés dans notre travail sur site par les moyens techniques disponibles à notre portée par l'aide de l'entreprise WWF, à l'exception de la turbidité, le pH, la minéralisation totale ainsi que la MES. Ces derniers sont analysés en laboratoire avec tous les différents paramètres chimiques et bactériologiques.

Cependant, ces méthodes d'analyses présentent des limites variables. Les méthodes d'analyse chimiques sont coûteuses en matériels comme les réactifs et les appareillages. Elle est sensible aux petites variations de l'état physico-chimique de l'eau ou aux cours du transport et de conservation. La méthode bactériologique est également onéreuse en matériels comme les milieux de culture, mais elle montre une sensibilité remarquable même pour les petites infestations des eaux. D'ailleurs, l'analyse bactériologique en laboratoire se limite seulement par la détection de quatre germes indices de pollution fécaux à savoir les coliformes totaux, l'*Escherichia coli*, les Streptocoques fécaux, et l'ASR.

Les enquêtes sur les maladies d'origine hydrique sont de type enquête par questionnaires des ménages au Fokontany d'Ambola par unité d'habitation et enquête par la consultation des archives dans le centre de santé de base niveau deux ou CSB II dans la Commune Efoetsy.



Nous n'avons pas pu enquêter la totalité des ménages à cause du rythme de leur activité journalières, car les hommes sont occupés par la pêche toute la journée tandis que les femmes s'occupent de la commercialisation. Effectivement, la majorité de la population dans le Fokontany d'Ambola sont indisponible pour les enquêtes par ménage mais seulement douze ménages ont été interrogés correctement.

La consultation des archives dans le CSB II nous a permis de retracer les différentes maladies liées à la consommation d'eau non potable ou polluée dans le Fokontany d'Ambola ainsi que le nombre des victimes. Cependant, les archives disponibles sont seulement relatives au mois de décembre 2014 et du janvier 2015 à cause du défaut de matériel et des usures des archives.

Les études de reconnaissance hydrogéologique par forage manuel à lançages d'eau est très pratique pour les zones côtières. C'est-à-dire que la condition de réalisation de cette technique est excellente sur tout pour les formations sableuses. La difficulté repose sur quelque souci remédiable à savoir : premièrement, le remplissage du bassin à boues bentonitiques avec de l'eau non salé, car ce dernier présente un caractère immiscible avec la bentonite qui détériore la performance de ce dernier à retenir les parois du trou de forage contre l'éboulement. Deuxièmement, au cours de l'affrontement des formations dure comme la couche calcaire fissuré qui nécessite une technique de foration spécifique et une bonne condition physique du foreur.

D'habitude, l'estimation du débit d'exploitation d'une nappe se fait par la méthode pratique ou essai de pompage. Cependant, ce dernier requiert aussi un coût de réalisation significative en carburant et matériel. Pour notre cas, nous avons utilisé la méthode théorique en exploitant la méthode Authossère qui résulte d'un essai de pompage par palier à courte durée pour aboutir à un débit estimatif d'exploitation sur la base de la transmissivité des aquifères. Cette méthode théorique présente une limite sur la précision des résultats du débit d'exploitation. Cependant, elle est pratiquement utile et rentable pour une phase d'étude mais qui doit être précisé et vérifié par la méthode pratique pendant la phase de réalisation.

III.1.2. Discussion sur les différents résultats

Selon les résultats des analyses physico-chimiques, les eaux souterraines dans le Fokontany d'Ambola sont fortement minéralisées de l'ordre de 12 520 [mg/l], avec une salinité non négligeable de l'ordre de 2 693,04 [mg/l] de sodium ou Na^+ et 6 035 [mg/l] de chlorure ou Cl^- . Ces différents facteurs de pollution chimique sont d'origine naturelle et principalement à l'origine du phénomène de lessivage des constituants lithologiques du



système aquifère de la région. En effet, les eaux qui circulent dans des sols calcaires sont forcément à caractères bicarbonatés calciques. De plus, la région est soumise à une forte évapotranspiration réelle de l'ordre de 104 mm à 127 mm durant les quatre mois successifs, du décembre jusqu'au mois de mars. C'est-à-dire, qu'une grande quantité d'eau souterraine est évaporé. Ce processus favorise d'avantage la contamination saline des aquifères littoraux par l'infiltration des eaux de mer.

La salinité des eaux venant des puits P2 et P3 varie nettement de 0,4 à 0,7% en fonction de la variation journalière de la température de, 25 à 28°C par une évapotranspiration réelle élevée de 127 mm et la distance par rapport à la mer. C'est-à-dire que, plus la température augmente, l'évaporation fait diminuer le niveau piézométrique des eaux souterraines et favorise l'infiltration des eaux de mer. Cette infiltration est matérialisée par la salinité de P2 qui est plus proche de la mer et nettement supérieur de 0,4 % que P3 de 0,7 %.

D'ailleurs, les résultats des analyses bactériologiques confirment aussi la présence d'une pollution d'origine fécale considérable qui est principalement causé par les types de comportement adopté par la population locale vis-à-vis de l'assainissement et de l'hygiène à savoir la pratique de la DAL et les rejets domestiques près des points d'eaux. Les puits traditionnels, P2 et P3 sont les plus vulnérables par cette contamination d'origine fécale du fait que les nappes exploitées sont des nappes phréatiques qui sont à la portée de toute contamination extérieure par infiltration. P4 est un puits busé, dont la profondeur est assez pour capter la nappe de sable gossier de type captif mais la fissuration des parois de la buse par le vieillissement et sans maintenance favorise l'infiltration des pollutions. De ce fait, les trois puits sont aux portées de toutes contaminations.

Effectivement, la population locale souffre davantage des plusieurs maladies liées à la consommation de ces eaux polluées. Les enfants et les personnes âgées sont les plus vulnérables par leur fragilité et la fatigue. Les maladies les plus fréquentes qui frappent la population du Fokontany d'Ambola selon les enregistrements à la CSB II de la Commune Efoetsy sont : la typhoïde, la bilharziose, les différentes infections cutanés, pulmonaires et urinaires, l'insuffisance rénale, l'hypertension et calcification vasculaire. Toutes ces maladies sont liées à la consommation d'eau non potable dans Fokontany d'Ambola que nous allons décrire respectivement par la suite. La typhoïde est une fièvre causée par une bactérie de la famille Entérobactérie du genre des salmonelles typique des bactéries indices de contamination fécale et d'origine hydrique se propageant par voie orale c'est-à-dire suite à la boisson. C'est plutôt une maladie intestinale causée par des parasites intestinaux d'origine



hydrique et dont leur cycle de vie débute par pénétration à voie orale ou transcutanée lors de périodes de baignades. Ce dernier débute par une infection cutanée puis, au-delà de deux à quatre jours, ils gagnent les vaisseaux lymphatiques jusqu'au poumon pour causer l'infection pulmonaire. A ce stade, ils évoluent vers le stade de maturation pour pondre des centaines d'œuf par jours puis à leur tour, ces derniers sont excrétés dans les urines pour causer les infections urinaires.

Suite à la consommation prolongée, de ces eaux qui présentent une dureté classique excessive d'ordre de 336 [mg/l] de teneur en calcium ou Ca^{2+} , notamment les personnes âgées souffrent aussi du calcul rénal et calcification vasculaire. Ce dernier favorise l'altération de la fonction rénale qui résulte par une insuffisance rénale aiguë et une hypercalcémie qui est caractérisé par l'augmentation anormale du taux de calcium dans le plasma entraînant une calcification vasculaire.

Le risque nitrate est lié à la faculté de l'organisme humain de transformer les nitrates en nitrites, qui réduisent les capacités de transport de l'oxygène par l'hémoglobine. C'est une substance de globules rouges de sang qui contient du fer. Lorsque l'hémoglobine est oxydée en méthémoglobine, le transport de l'oxygène ne se fait plus. Chez l'adulte, ce risque est très faible car une enzyme réduit la méthémoglobine en hémoglobine. En revanche, cette enzyme n'est pas activée chez le nourrisson et ne devient fonctionnelle que vers quatre mois. Or, les nitrates sont des oxydants de telle sorte qu'ils provoquent une méthémoglobinémie, dite aussi maladie bleue du nourrisson.

Les inquiétudes ont aussi glissé sur les effets cancérigènes des nitrites. Dans un milieu acide, l'estomac par exemple, l'ion nitrite donne naissance à de l'acide nitreux qui génère du dioxyde d'azote. Le dioxyde d'azote est capable de réagir avec des substances azotées qu'on appelle amines pour former des individus très peu fréquentables, les nitrosamines. Les nitrosamines endommagent les gènes et provoquent des cancers dans toutes les espèces animales.

Dernièrement, la minéralisation excessive en sodium ou une forte teneur en sodium ou Na^+ semble favoriser l'hypertension que nous constatons chez les personnes âgées selon les archives de la CSB II d'Efoetsy.

Face à tous ces différents facteurs incontournables qui accentuent la pollution des eaux souterraines et favorisant les maladies d'origines hydriques dans le Fokontany d'Ambola principalement d'origine naturel qu'anthropique. Une nouvelle infrastructure et technique de



production d'eau potable plus adaptée devra être mise en place pour satisfaire les besoins de la population croissante. Pour le Fokontany d'Ambola qui est particulièrement littorale, l'une des techniques les plus appropriées que nous allons proposer est un système de pompage suivi de désalinisation des eaux saumâtres. C'est une technique assez courante, mais compte tenu de son capacité de production d'eau potable, le système élimine le sel à 99,9 % et toutes les impuretés sans ajout de produits chimiques, à partir d'eau de puits côtiers, notamment saumâtre. C'est un système très pratique et bien qualifié pour s'adapter à diverses conditions dans la région.

III.2. Proposition du système de traitement par désalinisation

III.2.1. Définition et principe de désalinisation

III.2.1.1. Définition

Le dessalement de l'eau ou également appelé aussi dessalage ou désalinisation est un processus qui permet d'obtenir de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée. En dépit du nom, il s'agit rarement de retirer les sels de l'eau, mais plutôt, à l'inverse, d'extraire de l'eau douce.

III.2.1.2. Objectif

Dans de nombreux cas, la présence excessive de sels dissous dans les eaux naturelles prohibe leur utilisation face aux effets néfastes qu'il provoque sur tout au niveau de la santé pour l'eau de boisson et de cuisson. Mais aussi, son caractère très corrosif par rapport aux infrastructures. Les zones littorales sont les principales victimes de ce problème.

De nos jours, pour remédier à ce dernier, plusieurs techniques de désalinisation sont déjà mises en pratique selon leur critère de fonctionnement. Parmi ses critères, c'est le coût énergétique qui leurs distingue que ce soit: faible, moyen, ou élevé. Le tableau 35 présente quelques différents systèmes de désalinisation existant.

Tableau 35: Différentes techniques de désalinisation

Système de désalinisation	coût énergétique en kWh/m³
Osmose inverse	4 à 5
Compression de vapeur	5
Flash multi-étages, ou système flash	10
distillation multi-effets	15

Source : [12]

Dans tous les cas, le dessalement produit une saumure dont il faut se débarrasser, ce qui n'est pas un problème en bord de mer là où le courant est important, mais peut l'être à l'intérieur des terres, et dans certains écosystèmes comme les lagons, baies, lagunes, mangroves.

III.2.1.3. Osmose

L'osmose est un phénomène de diffusion de la matière, c'est-à-dire, elle désigne la tendance naturelle d'un système à rendre homogènes les concentrations des espèces chimiques en son sein. C'est un phénomène de transport irréversible qui se traduit par la migration d'espèces chimiques dans un milieu. Elle est mise en évidence lorsque des molécules d'eau ou de solvant de façon générale traversent une membrane semi-perméable qui sépare deux liquides dont les concentrations en produits dissous sont différentes. La différence de concentration provoque une différence de pression osmotique qui engendre un déplacement du solvant à travers la membrane.

Une différence de pression hydrostatique entre les deux liquides provoque un mouvement du solvant en sens inverse, jusqu'à ce que la pression osmotique soit aussi élevée que la pression hydrostatique. C'est le phénomène d'osmose inverse présenté par la figure 39.

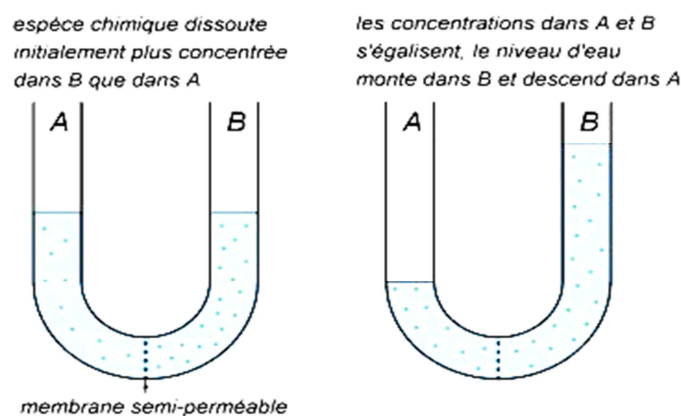


Figure 39: Expérience sur le phénomène de diffusion

Source : [15]

D'après ce figure, initialement les deux compartiments A et B sont séparés par une membrane semi-perméable au milieu. Chacun de ces compartiments est rempli par deux solutions salines de concentration C_A et C_B différentes de sorte que $C_A < C_B$. Selon le phénomène de diffusion de matière et l'intermédiaire d'une membrane semi-perméable le solvant du compartiment moins concentré se migre à travers la membrane semi-perméable vers le compartiment plus concentré jusqu'à ce que C_A soit égal à C_B .



III.2.1.4. Pression osmotique

La pression osmotique se définit comme la pression minimum qu'il faut exercer pour empêcher le passage d'un solvant d'une solution moins concentrée vers une solution plus concentrée au travers d'une membrane semi-perméable (membrane hémiperméable). Il faut bien comprendre que la pression osmotique se concrétise quand la part de la fraction molaire du solvant aqueux n'est pas égale à 1 [13].

La fraction molaire d'un constituant i est égale au rapport du nombre de molécules de ce constituant n_i sur le nombre total de molécules du mélange n_{total} . Elle est donc une grandeur sans dimensions. La somme des fractions molaires des constituants du mélange est égale à l'unité. $\boxed{\sum x_i = 1}$

On pourrait imaginer que, dans la solution la plus concentrée, les molécules d'eau sont en moins grand nombre, donc il y a égalisation de ce nombre de molécules d'eau de chaque part de la membrane. Mais cet effet est très minime. En fait, dans la solution la plus concentrée, les molécules d'eau (si le solvant est de l'eau) s'agglomèrent autour des molécules de soluté hydrophiles. Ces molécules accaparées ne traversent pas la membrane; l'important c'est la différence de concentration de « l'eau libre ». Ainsi l'eau libre se déplace à partir de la solution où la concentration d'eau libre est élevée vers la solution où la concentration d'eau libre est faible, jusqu'à ce que les concentrations soient égales. Mais au bout du compte, le résultat est toujours le même : le solvant se déplace vers la solution dont la concentration de soluté est la plus élevée. La pression osmotique est proportionnelle aux concentrations de soluté de part et d'autre de la membrane.

La pression osmotique d'une solution idéale se calcule par une formule développée par Van'tHoff en 1886 et appliquant le deuxième principe de la thermodynamique. [13]

$$\boxed{\Pi \times V = -R \times T \times \ln(1 - f_s)}$$

Avec :

Π : la pression osmotique, en Pa ;

V : le volume molaire occupé par le solvant ;

R : la constante des gaz parfaits ;

T : la température absolue, en K ;

f_s : la fraction molaire du soluté.



L'équation appliquée aux solutions réelles est, quant à elle,

$$\Pi \times V = -R \times T \times \ln(1 - \gamma f_s)$$

Où γ est le coefficient d'activité du soluté.

Pour une solution très diluée, f_s est proche de 0, et $-\ln(1 - f_s) \sim f_s$.

On peut donc simplifier l'équation selon la loi de Van' tHoff : [13]

$$\Pi = \frac{f_s \times R \times T}{V} = c \times R \times T$$

Avec :

C : la concentration de la solution (en sommant toutes les espèces présentes).

On peut également l'écrire comme ceci : [13]

$$\Pi = R \times T \times i \times M$$

Avec :

i : est le nombre de particules par entité formulaireire

M : est la concentration molaire (moles par mètre cube)

(On appelle $i \times M$ la concentration molaire)

Considérons deux solutions aqueuses de pressions osmotiques respectives Π_1 et Π_2 , alors si $\Pi_1 \geq \Pi_2$, l'eau passe de 2 vers 1 ; 2 se concentre (Π_2 augmente) et 1 se dilue (Π_1 diminue), jusqu'à égalité entre les pressions osmotiques.

III.2.1.5. Principe d'osmose inverse

L'Osmose inverse est une technique membranaire reposant sur une ultrafiltration sous pression à travers une membrane dont les pores sont des trous si petits que même les sels sont retenus. Cette une technique en plein essor avec un coût énergétique moyen de 4 - 5 kWh/m³. C'est le système de purification de l'eau par filtrage que même les particules très fines sont bloquées, seule la molécule d'eau peut passer.

L'eau comporte des solutés, particulièrement des sels. Si deux solutions de concentrations différentes sont placées de chaque côté d'une membrane filtre par osmose, l'eau franchit la membrane jusqu'à ce que les concentrations s'équilibrent ou que la différence de pression dépasse la pression osmotique.

Inversement, en exerçant dans un des compartiments une pression hydrostatique qui dépasse la pression osmotique (figure 40), on force l'eau à quitter le compartiment sous pression en dépit de l'augmentation de concentration en soluté qui s'y produit, et de la dilution qui se fait dans l'autre compartiment. [14]

La pression osmotique est aussi une pression mécanique, exerçant une force sur la membrane. À l'inverse, si l'on exerce une pression mécanique ou hydrostatique, on peut forcer le passage d'espèces à travers la membrane c'est ce que l'on utilise dans l'osmose inverse. L'osmose inverse est une technique de purification de l'eau ; c'est aussi une technique de dessalement ou désalinisation d'eau saumâtre permettant la production d'eau douce. [15]

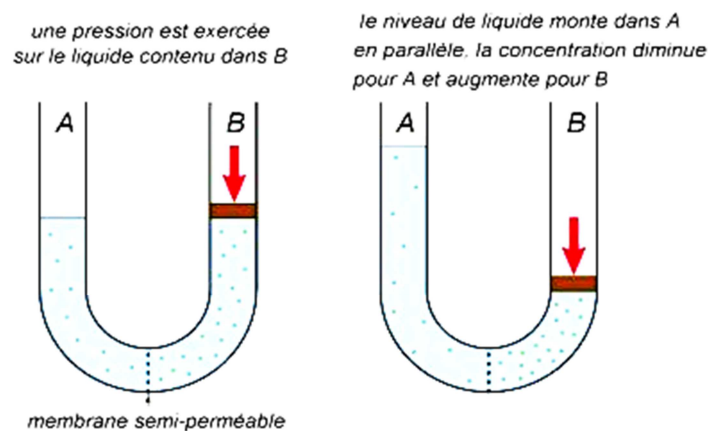


Figure 40: Expérimentation du principe d'osmose inverse

Source : [15]

Cette expérimentation met en évidence le principe de l'osmose inverse par l'application d'une force entraînant une augmentation de la pression hydrostatique dans le compartiment (B). Effectivement, le niveau du liquide dans le compartiment (A) augmente de manière que celui du compartiment B diminue. Les solvants dans le compartiment (B) se sont immigrés à travers la membrane semi-perméable sous la pression hydrostatique alors que les solutés sont retenus par la membrane semi-perméable.

III.2.2. Trunz Brackish Box 003 ou TBB 003

La Trunz Brackish Box 003 ou TBB 003 présentée par les figures 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 en annexe 8 et annexe 9 est un caisson de traitement d'eau saumâtre entièrement monté et opérationnel immédiatement. C'est une technologie allemande fabriquée par TRUNZ WATER SYSTEM en 2012. La fiche caractéristiques de la TBB 003 est présentée par le



tableau 36, en annexe 8. Le TBB 003 est pratiquement équipé pour fonctionner à divers conditions dont ces critères de qualification sont les suivantes :

- Le caisson de traitement d'eau saumâtre ou TBB 003 est entièrement monté et opérationnel immédiatement.
- L'installation produit environ 650 litres d'eau potable par heure à partir d'une source d'eau saumâtre qui est assez suffisante par rapport à l'étude des besoins en eau potable de notre zone cible.
- L'installation est équipée d'une pompe, de filtres autonettoyants et d'une unité de commande qui permet la facilité de l'utilisation.
- Le système d'osmose inverse élimine toutes les impuretés sans ajout de produits chimiques. Le caisson de traitement d'eau saumâtre convient pour une alimentation en eau décentralisée dans les Fokontany. L'installation est très compacte, simple à installer et à utiliser.
- De plus avec son système qui est très évolué, elle est dotée d'un système back Wash et back flush, une opération de commande automatique qui fonctionne comme suit :
 - Pour les 3 pré-filtres de 100 µm de 25 µm, lorsqu'ils sont saturés par les matières en suspension et d'autre matière dissoute de grosse dimension, le système back Wash lui permet de se laver automatiquement.
 - Puis pour les quatre membranes semi-perméables et semi-sélectives, le système back flush lui permet aussi de se laver automatiquement quand elles sont saturées de sel.

Effectivement ce système de Back Wash et Back flush lui donne la capacité de fonctionner en permanence et de garantir sa longévité.

Concernant l'alimentation électrique, trois variantes sont possibles :

- Secteur alimenté par un groupe électrogène ;
- Installation solaire, par l'utilisation d'énergie solaire ;
- Eolienne, utilisant l'énergie du vent.

Nous allons évaluer ces trois variantes selon les avantages et inconvénients qu'ils engendrent par le tableau 45 dans l'annexe 10.

Pour conclure, selon la fiche technique présentée par le tableau 44 en annexe 8, la TBB 003 est recommandée pour une eau de teneur en sel dissout jusqu'à TDS 18 000 mg/l ou 18



ppm ou 1,8 %. Cette valeur est largement proportionnelle par rapport au taux de salinité d'ordre de 0,6 % des eaux des puits d'Ambola. Elle produit à débit moyenne de 650 l/h d'eau traité et élimine à 100% de virus et de bactéries et à 99,9% de sel dissout. Les conditions climatiques favorisent l'utilisation des panneaux solaires pour l'alimentation électrique. Effectivement, compte tenu de tous ces paramètres, la TBB 003 peut s'adapter largement aux conditions existantes dans le Fokontany d'Ambola pour l'approvisionnement en eau potable.

III.3. Conception et installation du système AEPP avec l'unité de désalinisation

Pour, aboutir à la conception et installation du système AEPP avec la TBB 003, nous allons procéder par les études suivantes.

- Premièrement, une analyse de l'adéquation ressource et besoin de la population ;
- Deuxièmement, par le dimensionnement et calage des ouvrages afin de satisfaire les besoins de la population croissante ;
- Troisièmement une estimation financière du coût du projet.

III.3.1. Analyse de l'adéquation ressource et besoin

La potentialité de la nappe est déterminée à partir de la méthode Authossère développée dans le chapitre précédente et qui aboutit à un résultat de 14,04 m³/heure.

Pour 14 heures de pompage par jours avec un débit maximal de la pompe égale à 1,5 m³/h, ce potentiel est alors estimé à 21 m³/jour.

De même pour l'unité de désalinisation, pour 14 heures de fonctionnement par jour c'est-à-dire de 5h du matin jusqu' à 19 h le soir, elle est capable de fournir 9,1 m³/heure qui est largement suffisante pour couvrir les besoins en eau potable dans ce village pendant 15 ans.

L'adéquation des besoins avec les ressources est vérifiée si la production d'eau potable de l'unité de désalinisation pendant 14 heures par jour couvre la consommation journalière en eau potable de la population. De plus, la réserve d'eau potable arrive à faire face au débit de pointe. Nous allons présenter dans le tableau 36, l'adéquation des ressources en eau dans le Fokontany d'Ambola avec les besoins en eau potable de la population selon l'étude de besoin.

Tableau 36: Adéquation des ressources et besoin de la population d'Ambola

Unité	Capacité de la nappe	Capacité de la pompe	Capacité de l'unité de désalinisation	Besoin en eau
Volume (m ³ /j)	196,56	21	9,1	8,4
Différence (m ³)	0,7			

Source : Auteur, 2015

D'après ces données, les ressources en eau souterraine et la capacité de la pompe ainsi que le débit de production en eau potable de la TBB 003 sont largement suffisants pour satisfaire les besoins en eau de la population croissante dans le Fokontany d'Ambola.

III.3.2. Dimensionnement des ouvrages AEPP avec la TBB 003

Un système d'AEPP suivi de désalinisation conforme aux normes doit contenir tous les ouvrages suivants :

- Un ouvrage de captage;
- Un 1^{er} ouvrage de stockage d'eau salé ;
- Un ouvrage de traitement;
- Un 2^{ième} ouvrage de stockage d'eau traité ;
- Des conduites d'eau et point de distribution.

Nous allons présenter par un schéma simplifié les éléments constitutifs d'un système AEPP avec désalinisation (figure 41).

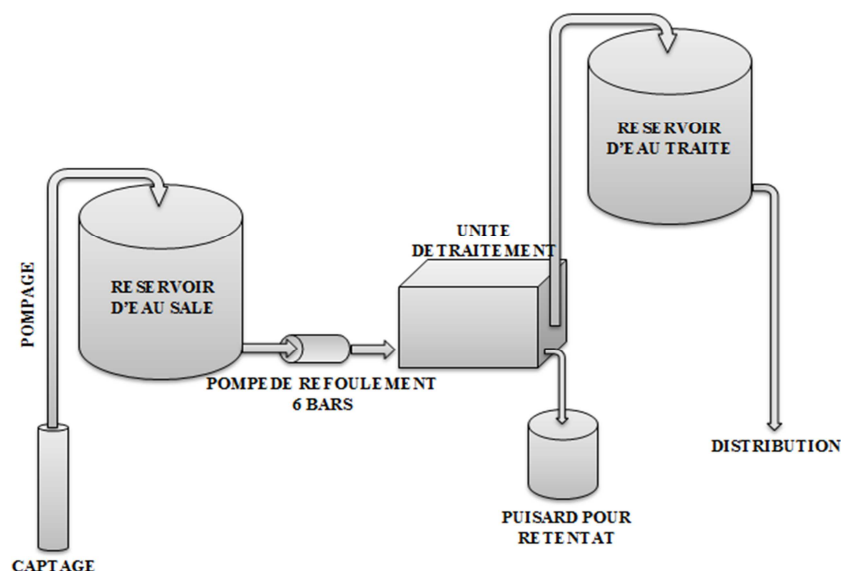


Figure 41: Schéma simplifié des éléments constitutifs d'un AEPP avec désalinisation

Source : Auteur, 2015



C'est un système un peu spécifique car il est équipé de deux réservoirs. Le premier sert à accumuler l'eau salée pompée par la pompe immergée venant directement du captage. Puis le second réservoir stocke l'eau dessalé venant de la TBB 003. Ce système présente plusieurs avantages comme :

- Le temps de fonctionnement de la pompe immergée est réduit par rapport à celui du TBB 003 car le débit de la pompe est supérieur par rapport à la désalinisation.
- Plus d'énergie électrique sera réservé pour le fonctionnement de la TBB 003.
- La pompe gagne en longévité.
- le risque de coupure d'eau diminue en cas de panne de la pompe.

Un puisard est installé pour stocker les « *rétentats* » ou débris de sel retenu par la membrane semi-perméable. Le bâtiment d'abris est conçu pour supporter la totalité du système AEPP avec la TBB 003, dont le dimensionnement de ce dernier est présent en annexe 1 ainsi qu'un plan de masse du projet. Par la suite, nous allons dimensionner les différents éléments constituants du système de désalinisation avec la TBB 003

III.3.2.1. Dimensionnement des ouvrages de captage

L'ouvrage de captage est un forage muni d'un équipement complet servant à capter l'eau souterraine. Une pompe immergée à alimentation solaire est placée et positionnée dans la colonne d'eau. Cette dernière a pour rôle d'aspirer et de remonter l'eau souterraine grâce à un tuyau PEHD de refoulement avec un débit volumique de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ jusqu' à la surface afin d'être conduit puis traitée dans le caisson de traitement.

La figure 42 récapitule la fiche technique du forage de 20 mètres avec la disposition de tous les équipements nécessaires de l'ouvrage de captage. La coupe technique a été réalisée à partir des données de la coupe lithologique du forage P1.

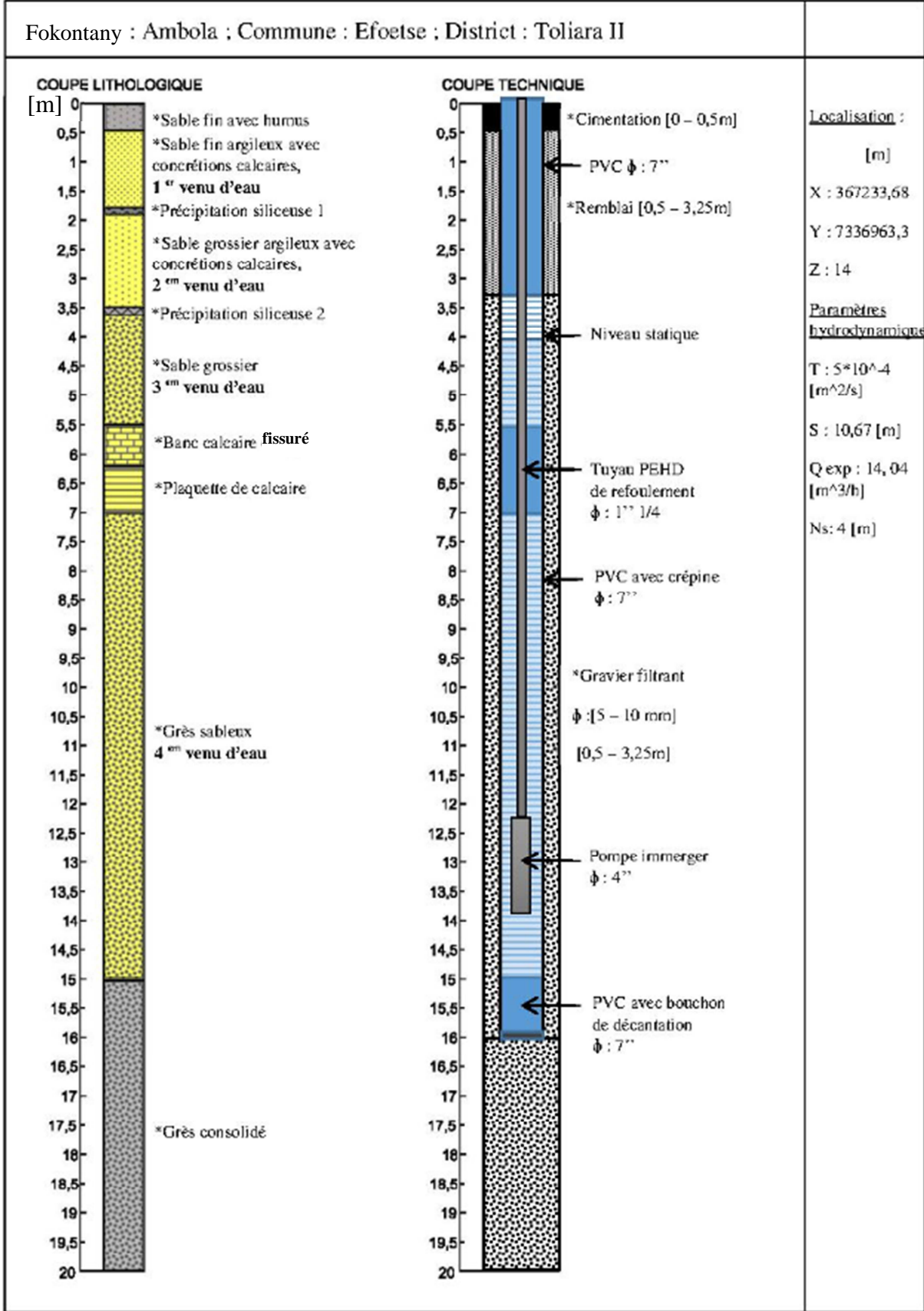


Figure 42: Ouvrage de captage

Source : Auteur, 2015



D'après cette fiche technique, nous avons quatre venues d'eau, mais seulement la troisième et la quatrième ont été captées parce que les deux premiers présentent un faible débit. La profondeur exacte de l'ouvrage est de l'ordre de 16 m, l'extrémité du tuyau de captage ou équipement repose alors sur la couche de grès consolidé qui joue le rôle de support pour maintenir la totalité des équipements du forage.

Une PVC lisse bouchée à l'extrémité et d'une longueur de 1 m est installé au fond dont son rôle est un accumulateur ou décanteur. De 7 m à 15 m est installé une PVC avec crépine pour capter la nappe de grès sableux puis de 3,5 m à 5,5 m pour capter la nappe de sable grossier. Le reste est rempli par des PVC plein et réuni par des filtrages pour arrêter toute autre infiltration jusqu'à la surface.

Le vide entre la paroi du forage et ces équipements est rempli par des graviers filtrant de diamètre inférieur à 5 mm pour jouer le rôle de filtre et de protéger la crépine contre le bouchement.

La partie supérieure qui est équipée par le PVC plein, est remplie de remblai jusqu'à la surface. Ensuite, elle est bouchée par une cimentation pour empêcher la contamination par infiltration.

L'emplacement de la pompe dans la colonne d'eau est conditionné par le NPSH ou Net positive Suction Head ou position minimal de la pompe, elle est surélevée d'au moins 1 m par rapport à position de décanteur pour éviter la turbulence.

III.3.2.2. Dimensionnement des ouvrages de traitement

L'ouvrage de traitement est la TBB 003 ou TRANZ BRACKISH BOX 003 qui est spécifique pour une teneur en sel dissout TDS jusqu'à 18 000 mg/l. Le traitement de l'eau par dessalage est un phénomène énergétique, dont l'objectif est de séparer les sels dissoutes de l'eau saumâtre afin d'extraire de l'eau douce et d'éliminer toute les matières en suspension responsable de l'impureté de l'eau. Pour simplifier, le traitement comprend trois étapes :

- Le prétraitement ;
- La désalinisation ;
- La purification.



a. Prétraitement

Le prétraitement est une technique adoptée pour éliminer les matières en suspension et les matières dissoutes de grosse dimension. Il comprend : la dégrillage, le filtre à sable et le pré filtration.

a.1. Dégrillage

C'est un système utilisé pour empêcher les gros solides flottants dans l'eau comme le déchet solide, les cailloux à l'aide de grille à maille carré de dimension fine. Cette grille est généralement en matières inoxydable pour faire résister à la solution saline. La dégrillage a double fonction : la protection de la pompe et le traitement de l'eau.

a.2. Filtre à sable

C'est un système qui élimine tous les particules solides dissoutes de dimension supérieures à 100 μ m.

a.3. Pré-filtration

C'est une séparation physique qui permet d'éliminer les particules des grosses dimensions sous pression constante. Le pré filtration comprend quatre pré-filtres de dimension respective décroissante :

- Un pré-filtre 100 μ m ;
- Deux pré-filtres 25 μ m ;
- Un pré-filtre 5 μ m

Après le filtre à sable, l'eau passe dans un pré-filtre 100 μ m pour empêcher les particules dissoutes de dimension supérieure à 100 μ m, puis passe dans les pré-filtres 25 μ m pour éliminer les particules dissoutes de dimension supérieur à 25 μ m. Ces trois (03) pré filtres sont soumis à une opération de back Wash, c'est-à-dire que, lorsqu'ils sont saturés de sel, ces derniers se lavent automatiquement, pas besoin de commande. En fin, le pré filtre 5 μ m, c'est le dernier qui éliminer les grosses particules de dimensions supérieures à 5 μ m.

b. Désalinisation

La désalinisation est un traitement qui consiste à séparer l'eau et les sels dissouts par le procédé d'osmose inverse. Ce procédé comprend (04) quatre membranes semi-perméables semi-sélectives qui éliminent jusqu'à 99,9 % de sels dissous.

Une membrane semi-sélective est une membrane permettant certains transferts de matière entre deux milieux qu'elle sépare, en interdisant d'autres ou plus généralement en favorisant certains par rapport à d'autres.

L'osmose inverse est un procédé de séparation en phase liquide par perméation à travers des membranes semi-sélectives sous l'effet d'un gradient de pression. Une partie de la solution à traiter de débit Q_0 se divise au niveau de la membrane en deux parties de concentrations différentes:

- Une partie avec débit Q_P passe à travers la membrane (perméat) ;
- Une partie qui ne passe pas à travers la membrane (concentrat ou rétentat) et qui contient les molécules ou particules retenues par la membrane.

c. Purification

La purification est un traitement d'ajout pour améliorer la qualité de l'eau douce après désalinisation. L'eau est purifiée en passant dans un filtre à charbon actif 20 μm . Le filtre à charbon actif élimine les particules responsable d'odeurs désagréables dans l'eau.

Un schéma simplifié des éléments constitutifs de l'unité de traitement est présenté par la figure 43.

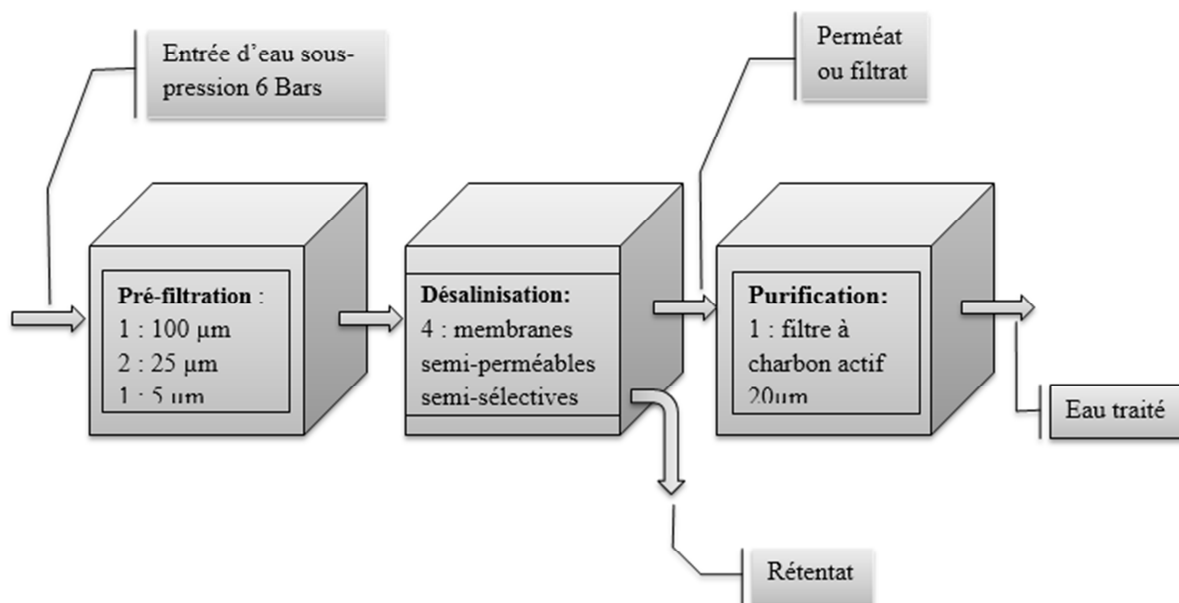


Figure 43: Schéma simplifié des phases de traitement de la TBB 003

Source : Auteur, 2015



D'après cette figure, l'eau saumâtre sous pression de 6 bars arrive dans la pré-filtration et subit trois filtrations successifs de 100 μm , 25 μm puis 5 μm . Après arrive dans la désalinisation, ce dernier est séparé en deux par perméation, la partie du mélange retenue par la membrane est appelée « *rétenant* » alors que celle qui traverse cette dernière est appelée « *perméat* ».

Le perméat ou filtrat est renvoyé dans la purification ou filtre à charbon actif (charbon activé) qui est un matériau constitué essentiellement de matière carbonée à structure poreuse. La filtration se fait par phénomène d'adsorption. C'est un phénomène de surface par lequel des molécules se fixent sur la surface de l'adsorbant par des liaisons faibles. Cette interaction de faible intensité est appelée force de Van der Waals [17].

III.3.2.3. Dimensionnement des ouvrages de stockage

L'ouvrage de stockage est un réservoir cylindrique MAKIPLAST qui a pour rôle de stocker l'eau en période creuse et de la restituer en période de pointe. Le dimensionnement du réservoir est présent en annexe 4.

L'équipement du réservoir comprend les tuyauteries d'entrées et de sortie du réservoir plus les accessoires nécessaires :

a. Système de vidage

C'est une vanne placée au niveau du fond du réservoir qui sert essentiellement à vider le réservoir lors de l'entretien et la réparation de ce dernier.

b. Sonde de niveau d'eau

C'est un système à la fois mécanique et électrique qui permet la communication directe et automatique entre le niveau d'eau dans le réservoir et la machine de traitement. C'est-à-dire, quand le réservoir est plein, le flotteur envoie un signal à la machine de s'arrêter, puis quand le niveau d'eau baisse dans le réservoir suite à une consommation, ce dernier déclenche la marche de la machine et vice versa.

c. Conduits d'eau et point de distribution

Les conduites d'eau sont l'ensemble des fournitures qui servent à assurer le transfert d'eau du captage jusqu'à la distribution. Une connaissance à la plomberie est nécessaire pour le raccordement de ces tuyaux. Le dimensionnement des conduites d'eau correspond à la consommation en eau potable de la population à l'horizon de 2030 pour 3 bornes fontaines est

présent en Annexe 5. Pour ce type d'ouvrage, que ce soit les conduits d'amenée ou de distribution, les tuyaux PEHD sont les plus appropriés car ils résistent à la corrosion.

III.3.2.4. Dimensionnement des équipements électriques

a. Pompe immergée

Une pompe immergée (figure 44) est définie par son débit et son HMT (Hauteur Manométrique Totale) qui définissent le point de fonctionnement au meilleur rendement. Les pompes utilisées seront donc choisies selon les conseils techniques des fournisseurs par rapport aux conditions de l'utilisation. Elle est toujours équipée d'un boîtier de commande. Les caractéristiques de la pompe immergée livrés par le fournisseur sont [19] :

- Diamètre de la pompe ϕ_1 : 101,6 mm ;
- Diamètre du tuyau de refoulement ϕ_2 : 40 mm ;
- Hauteur Manométrique Total ou HMT : 45 mètres ;
- Débit : 1,5 m³/h ;
- Alimentation 220 ~ 230 V / 50 Hz (norme européenne)



Figure 44: Pompe immergée et boîtier de commande

Source : [19]

b. Panneau solaire

Un module solaire photovoltaïque (figure 45) ou panneau solaire photovoltaïque est un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, qui sert de module de base pour les installations photovoltaïques. Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière ou aux photons, produit de l'électricité grâce à l'effet photovoltaïque [18].

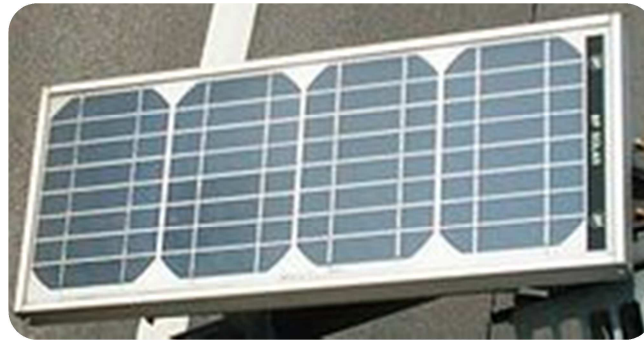


Figure 45: Module solaire photovoltaïque, 12V 450W

Source : [18]

Pour optimiser l'énergie captée par les panneaux solaires photovoltaïques, sont installation exigent deux paramètres spécifique à Madagascar:

- Il faut que les cellules photovoltaïques du panneau solaire est dirigé vers le Nord ;
- Ils sont inclinés de 20° par rapport à l'horizontale.

De plus, les équipements assujettis pour une installation solaire sont :

- Un panneau solaire ;
- Un régulateur ;
- Une batterie.

Pour une quelconque installation solaire donnée, ses trois éléments sont proportionnels en termes de puissance, de capacité et d'autonomie par rapport à la puissance recommandée du récepteur.

c. Notion de base d'électricité

D'après la loi d'Ohm, on a la formule : [06]

$$P = U \times I$$

P : la puissance (W); U : la tension (V); I : l'intensité (A).

L'unité Ampère-heure ou ampèreheure, de symbole (Ah) qui est une unité de charge électrique, c'est la quantité d'électricité traversant une section d'un conducteur parcouru par un courant d'intensité de 1 ampère pendant 1 heure.

Pour 14 h de fonctionnement de l'unité de désalinisation par jour, le dimensionnement de l'équipement électrique sera calculé selon le tableau 37 ci-dessous.



Tableau 37: Tableau de proportionnalité pour une installation solaire

	Panneau solaire	Régulateur	Batterie	Récepteur
Puissance [W]	450	-	-	930
Tension [V]	12 × 2	22,8 à 24	24	24
Capacité [Ah]	-	40,79	100	-
Nombre	10	1	8	7

Source : Auteur, 2015

D’après ce tableau, la puissance totale consommée par le récepteur est de l’ordre de 930[W], pour une tension de 12[V]. Pour 14 heures de fonctionnement par jour, la capacité de la batterie doit être supérieure ou égale à 800[Ah] et 24[V]. Pour charger la batterie, la puissance du panneau solaire est de 450[W] pour 10 cellules photovoltaïques avec un régulateur de capacité 45[A]. Le dimensionnement du panneau solaire est calculé en annexe 3.

III.3.3. Estimation du coût du projet

Cette phase est primordiale pour l’étude de pré faisabilité du projet car il consiste à l’évaluation de l’investissement nécessaire pour la réalisation de ce dernier. Pour les prix unitaires et les métrés, nous nous sommes référés au sous détail de prix établi par l’entreprise privée HARIVELO. Ces prix résultent de l’analyse des prix relevés sur les études de projet d’adduction en eau potable pratiqués par des petites et moyennes entreprises locales, en considérant les conditions économiques actuelles ou prix des matériels et des matériaux sur le marché.

L’estimation du coût fait partie du cadre de BDQE dont la récapitulation est présentée dans le tableau 38 ci-dessous :

Tableau 38: Estimation du coût des travaux

Poste	Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire	Prix total
				En Ar	En Ar
0	Installation et travaux généraux	fft	1	12 000 000	12 000 000
I	Forage mécanique de 20 m	fft	1	16 269 474	16 269 474
II	Réservoir plastique de 10 m ³	fft	2	8 880 000	17 760 000
III	TBB 003 avec équipement complet	fft	1	180 000 000	180 000 000
IV	Bâtiment, BF, puisard, équipements électriques	fft	1	16 000 000	16 000 000
				Total hors TVA	242 029 474
				TVA 20%	48 405 895
				Total TTC	290 435 369

Source : Auteur, 2015



Le coût du projet d'alimentation en eau potable par désalinisation dans le village d'Ambola de la Commune Efoetsy est estimé à *DEUX CENT QUATRE-VINGT-DIX MILLIONS QUATRE-CENT TRENTE-CINQ MILLE TROIS CENT SOIXANTE-NEUF* Ariary (290 435 369 Ariary), y compris la taxe sur les valeurs ajoutées au taux de 20% pour un montant de *QUARANTE-HUIT MILLIONS CINQ MILLE HUIT-CENT QUATRE-VINGT-QUINZE* Ariary (48 405 895 Ariary)

Pour un projet communautaire, il est important de s'assurer que tous les recettes issues de l'achat d'eau potable de l'unité de traitement par les villageois sont suffisantes pour couvrir les charges totales pour le bon fonctionnement et la sérénité de l'infrastructure.

Cependant une évaluation des revenus de l'unité de désalinisation est nécessaire. Nous allons alors élaborer une étude de prix pour la recette et dépense.

C'est une étude qui consiste à comparer le tarif supportable du prix d'achat de l'eau et la charge fixe de l'unité de traitement. Elle s'effectue sur la base des revenus et la charges fixes.

III.3.3.1. Recette estimée pour le projet

Pour évaluer le revenu de l'unité de désalinisation, il est nécessaire de se rappeler du niveau de consommation d'eau potable de la population (tableau 26) ainsi que leur capacité de payer l'eau. Le tableau 39 montre l'évaluation du niveau de consommation en eau potable de la population pour quinze années à venir.

Pour un système de paiement par bidon d'eau, la majorité des ménages enquêtés ont opté pour un tarif évalué à 200 Ar/bidon. A partir de ce tarif, nous allons évaluer le revenu de l'unité de désalinisation dans le Fokontany d' Ambola. Le tableau 40 récapitule les revenus d'eau par rapport au niveau de consommation et nombre de la population d'Ambola de 2015 à 2030.

Tableau 39: Recettes estimées pour le projet

Année	N (hab)	Consommation Total		Recette	
		L / Jours	L / mois	Ar / mois	Ar / ans
2015	581	5 810	174 300	1 743 000	20 916 000
2020	657	6 570	197 100	1 971 000	23 652 000
2025	744	7 440	223 200	2 232 000	26 784 000
2030	841	8 410	252 300	2 523 000	30 276 000

Source : Auteur, 2015

En se référant à l'année de référence 2015, le revenu de l'unité de désalinisation est estimé à **20 916 000** Ariary par an.



III.3.3.2. Charges fixes

Les charges fixes sont composées de :

- Sur la base des informations disponibles obtenues à travers des documentations, prise en compte des coûts de maintenance et de renouvellement qui sont détaillés comme suit :
 - Maintenance et renouvellement de l'ouvrage de génie civil : 10 % du montant de l'investissement par an.
 - Maintenance et renouvellement des équipements de l'unité de désalinisation : 2000 CHF (1 CHF= 3 136 Ariary)
- Considération des charges du personnel selon l'organigramme du personnel ou des membres qui composent la structure de gestion.

Par conséquent, les marges ou épargnes dégagés varient selon les structures de ces comptes de recettes et de dépenses. Mais il est important de noter que le niveau de cette marge dépend fortement du volume de vente réalisé lié avec le nombre de population à desservir.

a. Coût de maintenance et renouvellement des matériels

Le coût de maintenance et renouvellement des matériels sont catégorisés en deux : la totalité des travaux pour l'unité de désalinisation et génie civil. Le tableau 40 présente ces coûts.

Tableau 40: Cout de maintenance et renouvellement des matériels

Travaux	Coût d'investissement en Ariary	Maintenance et renouvellement des équipements	Coût de maintenance et renouvellement en Ariary / an
Unité de désalinisation	180 000 000	2 000 CHF	6 272 000
Génie civil	15 160 164	10%	1 516 017
Total	195 160 164	-	7 788 017

Source : Auteur, 2015

Le coût de maintenance et de renouvellement des matériels sont évalués à **7 788 017** Ar/an

b. Charge des personnels

La charge du personnel sera évaluée par rapport au poste ou elle aura été attribuée selon l'organigramme de la structure de gestion proposée. Dans notre calcul, on considèrera une augmentation annuelle de 5% (tableau 41).



Tableau 41: Charge des personnels de l'unité de désalinisation

Charge des personnels	Nb	Salaire mensuel	Montant total en Ar			
			2015	2020	2025	2030
Gérant	1	300 000	300 000	382 884	488 668	623 678
Gardien	1	100 000	100 000	127 628	162 889	207 893
		TOTAL	400 000	510 512	651 557	831 571

Source : Auteur, 2015

Pour une année de service, la dépense des personnels est estimée à **4 800 000** Ar/an.

D'où, la totalité de la charge fixe est alors estimé à **12 588 017** Ar/an.

La gestion de l'unité de désalinisation requière les compétences de quelques personnels tels, un gérant qui est le premier responsable ayant la capacité d'un comptable qui assure la tenue des comptes, d'un technicien responsable de la maintenance des équipements et gardien pour garantir la sécurité. Pour assurer ce niveau de compétence requise, une formation de renforcement sera nécessaire pour les personnes qualifiées. .

En fin, pour assouvir ce projet, il faudra aussi tenir compte des éventuels impacts environnementaux et ses mesure d'atténuation.

III.4. Aspect environnementale du projet

La réalisation d'une analyse environnementale est une étape légitime et obligatoire dans le processus d'un projet dans la mesure où elle a une grande influence sur les décisions d'investissement. L'environnement est l'ensemble des éléments qui constituent le voisinage d'un être vivant ou d'un groupe d'origine animal, humaine et végétale et qui sont susceptibles d'interagir avec lui directement ou indirectement.

III.4.1. Analyse des impacts spécifiques

L'étude d'impact environnementale est à la fois un processus décisionnel et un document qui fournit une évaluation systématique reproductible et interdisciplinaires des effets potentiels d'une action procédée ainsi que les solutions pratiques possibles relatives aux attributs physiques, biologiques, culturels et socio-économiques d'une zone donnée.

Selon les impacts probables vis-à-vis des composantes affectées ou milieu récepteur. Il n'existe que deux types d'impact sur l'environnement : impact positifs et impacts négatifs (tableau 42, 43, 44).

III.4.1.1. Phase d'étude

Tableau 42: Tableau montrant l'analyse des impacts pendant la phase d'étude

Composantes du Milieu	Etape de travail	Source d'impacts	Impacts Spécifiques	Types d'impact
MILIEU PHYSIQUE				
Air/bruit	Conception et études	Séjour du personnel chargé de la mise en œuvre	Dégradation de la qualité de l'air dû à l'émanation des poussières suite à la circulation des véhicules	Négatif
		Transport des matériaux	Nuances sonores	Négatif
Acquisition des données		Dégradation du paysage et compacité du sol	Négatif	
Installation du campement		Risque d'érosion	Négatif	
Eau		Sondage hydrogéologique	Perturbation de l'équilibre hydrodynamique	Négatif
			Pollution des eaux souterraines (nappe phréatique) causé par l'infiltration des boues	Négatif
MILIEU BILOGIQUE				
Faune	Conception et études	Acquisition des données	frustration due au bruit	Négatif
		Installation du campement	Perturbation des habitats	Négatif
Acquisition des données		Défrichement de certaines espèces floristiques	Négatif	
Installation du campement			Négatif	
Flore				
MILIEU HUMAINE				
Social	Conception et études	Séjour du personnel chargé de la mise en œuvre	Afflux des populations aux alentours	Négatif
			Insécurité, risque d'accident suite à la circulation du véhicule	Négatif
			Augmentation des risques de transmission de maladies d'une communauté à l'autre à cause de l'augmentation des échanges.	Négatif
Economie et système de production		Séjour du personnel chargé de la mise en œuvre	Bénéfique des échanges commerciaux	Positif
		Installation du campement	Création des AGR	Positif
Culture		Séjour du personnel chargé de la mise en œuvre	Risque de violation des coutumes	Négatif
	Installation du campement	Cohabitation forcée entre des cultures différentes, conflit social	Négatif	

Source : Auteur, 2015

III.4.1.2. Phase de construction

Tableau 43: Tableau montrant l'analyse des impacts pendant la phase de construction

Composantes du Milieu	Etape de travail	Source d'impacts	Impacts Spécifiques	types d'impact
MILIEU PHYSIQUE				
Air/bruit	Fouilles	Installation de chantier/base vie	Pollution de l'air	négatif
		Creusement/forage	Nuisance sonores (bruits de machine)	négatif
	Maçonnerie	Construction de l'air d'assainissement	Dégradation de la qualité de l'air par l'utilisation des matériaux de construction (ciments)	négatif
	Divers	Transport (matériaux, matériels) et équipements	Altération de la qualité de l'air par les émissions des gaz nocifs, et autre particules pollution due à l'émanation de poussière	négatif négatif
Sol	Fouilles	Débroussaillage	Dégradation de la couverture du sol et risque d'érosion	négatif
		creusement	Risque d'affaissement	négatif
	Maçonnerie	construction de l'air d'assainissement	Pollution du sol par l'éparpillement des déchets comme : sachets des ciments, boîte de peinture,...	négatif
		Gîtes des matériaux locaux (sable, rocheux,...)	Excavation	négatif
		lieu d'emprunt (remblais, gazon, arbuste, ..)	risque d'érosion	négatif
	Divers	construction de puisard et base vie	risque d'érosion, glissement de terrain	négatif
	Repli du chantier	Nettoyage et remise dans leur état initial	Trouble visuel, éparpillement des déchets solides	négatif
Eau	Fouilles	Creusement et forage	perturbation de l'équilibre hydrogéologique local	négatif
			Dégradation de la qualité des eaux souterraines	négatif
	Maçonnerie	construction de l'air d'assainissement	pollution de l'eau par les intrants de construction et les déchets	négatif
	Divers	Développement et soufflage du forage	contamination de la nappe	négatif



MILIEU BIOLOGIQUE				
Faune	Fouilles	Débroussaillage	Migration de certaines espèces	négatif
		Creusement et forage	Destruction des micro-habitats	négatif
	Maçonnerie	construction de l'air d'assainissement	Perturbation d'habitat faunistique	négatif
	Divers	Gîtes des matériaux locaux (sable, rocheux,...)	Perturbation d'habitat faunistique	négatif
		lieu d'emprunt (remblais, gazon, arbuste, ..)	Perturbation d'habitat faunistique	négatif
Repli du chantier	restauration du lieu	retour au calme de l'habitat	positif	
Flore	Fouilles	Débroussaillage	Défrichage aux alentours du point d'implantation	négatif
		Creusement et forage	Modification de la condition géothermique de la végétation	négatif
	Maçonnerie	construction de l'air d'assainissement	perturbation de la végétation	négatif
	Divers	Gîtes des matériaux locaux (sable, rocheux,...)	Destruction ou modification de la végétation	négatif
		lieu d'emprunt (remblais, gazon, arbuste, ..)		
Repli du chantier	restauration du chantier et reboisement	Nécessité de reboisement	positif	
MILIEU HUMAIN				
Social	Fouilles	Débroussaillage	Nuisance sonores (bruits de machine) et risque d'accident	négatif
		Creusement et forage	Création d'emploi	positif
	Maçonnerie	construction de l'air d'assainissement	Risque de protestation de la propriétaire du terrain sur l'emplacement de l'ouvrage	négatif
			embauche local	positif
	Divers	Gîtes des matériaux locaux (sable, rocheux,...)	Conflit avec l'exploitant local, Risque d'accident suite à la circulation des camions	négatif
			Conflit avec l'exploitant local, Risque d'ensablement des bas-fonds	négatif
		lieu d'emprunt (remblais, gazon, arbuste, ..)	risque d'accident, nuisance sonore, risque de stagnation d'eau de refoulement.	négatif
			développement et soufflage du forage	
		Fouille et pose des conduites	embauche local	positif
	Ouvriers et paysans travaillant ensemble	risque de transfert de MST	négatif	
	Repli du chantier	départ des ouvriers	Accès à l'eau potable de proximité	positif
			risque de non paiement des dettes	négatif
			restauration insatisfaisante du chantier	négatif

Source : Auteur, 2015

III.4.1.3. Phase d'exploitation

Tableau 44: Tableau montrant l'analyse des impacts pendant la phase d'exploitation

Composantes du Milieu	Etape de travail	Source d'impacts	Impacts Spécifiques	Types d'impact
MILIEU HUMAIN				
Social, économique, environnemental	Exploitation	Utilisation de l'ouvrage	Amélioration de la vie quotidienne de la population principalement au niveau de la santé	Positif
			Amélioration des activités sources de revenu grâce au gain de temps par la facilité d'approvisionnement en eau potable.	Positif
			bénéficie d'une énergie électrique offerte par les panneaux solaires.	Positif
			bénéficie des sels qui sont filtré et rejeté par la machine de dessalage.	Positif

Source : Auteur, 2015

Durant les différentes phases du projet, tous les impacts qui présentent des effets négatifs d'intensité forte ou moyen de façon temporaire ou permanent et que ce soit local ou régionale et d'une importance majeure ou moyen sur chacune des composants du milieu feront l'objet d'une proposition de mesure d'atténuation.

III.4.2. Mesures d'atténuations

Les mesures d'atténuation se définissent comme l'ensemble des moyens envisagés pour prévenir et pour réduire les impacts sur l'environnement. Selon le chapitre précédents, les impacts négatifs issus de la mise en œuvre du projet feront l'objet d'une proposition de mesures environnementales appropriées afin de limiter, ou de pallier aux risques qui peuvent en découler (tableau 45).

Tableau 45: Tableau montrant les mesures d'atténuations proposées

MILIEU PHYSIQUE		
Composant du milieu	Impacts spécifiques	Mesures d'atténuations proposées
Sol	Dégradation de la couverture du sol et risque d'érosion	Minimisé la surface à extraire et le nombre d'aménagement de franchissement
	Pollution du sol par l'éparpillement des déchets comme : sachets des ciments, boîte de peinture,...	Prendre des dispositifs adéquats pour la gestion des déchets et mettre en place des bacs à ordures
	risque d'affaissement	Minimiser le débroussaillage et assurer la stabilité du terrain
	Risque d'érosion et glissement de terrain	Minimiser la vibration
	Dégradation du paysage compacité du sol	Minimiser la surface à dénuder
Eau	Perturbation de l'équilibre hydrodynamique causé par l'exploitation instance	Eviter la surexploitation de la ressource en eau
	Pollution des eaux souterraines (nappe phréatique) causé par l'infiltration des boues	Minimiser l'infiltration des boues par l'utilisation de bentonite



	Perturbation de la qualité d'eau de surface	Minimiser le risque de perturbation de l'eau de surface
	Pollution des eaux souterraines causées par les déchets	Respect des cultures locales
Air	Dégradation de la qualité de l'air dû à l'émanation des poussières suite à la circulation des véhicules	Limiter la vitesse de circulation
	Dégradation de la qualité de l'air par l'utilisation des matériaux de construction (ciments)	Minimiser l'éparpillement des poussières des matériaux de construction
	Altération de la qualité de l'air par les émissions des gaz nocifs, et autre particules	Evité l'usage des produits nocifs
MILIEU BIOLOGIQUE		
Composant du milieu	Impacts spécifiques	Mesures d'atténuation proposées
Faune	Perturbation d'habitat faunistique	Minimiser la perturbation des habitats faunistiques
	Migration de certaines espèces retour au calme de l'habitat	Optimiser la remise à l'état
Flore	Défrichement aux alentours du point d'implantation	Minimiser la surface concernée
	Défrichement de certaines espèces floristiques	
	Végétalisation	Optimiser la remise à l'état
MILIEU SOCIO-ECONOMIQUE		
Composant du milieu	Impacts spécifiques	Mesures d'atténuations proposées
Social, économique	Afflux des populations aux alentours	Délimiter les zones d'études
	Augmentation des risques de transmission de maladies d'une communauté à l'autre à cause de l'augmentation des échanges comme la MST, ...	Mener une campagne de sensibilisation et d'information
	Insécurité, risque d'accident suite à la circulation du véhicule	limiter la vitesse de circulation
	Bénéfique des échanges commerciaux	Normaliser les échanges commerciaux
	Risque de violation des us et coutumes	S'informer et respecter les us et coutumes
	Cohabitation forcée entre des cultures différentes, conflit social	Organiser avec les autorités locales
	Risque de protestation de la propriétaire du terrain sur l'emplacement de l'ouvrage	Etablir un acte de donation de terrain
	Embauche local	Formaliser l'embauche
	Accès à l'eau potable de proximité	Assurer l'appropriation des ouvrages par les bénéficiaires.

Source : Auteur, 2015

Compte tenu de notre étude, la réalisation de ce projet communautaire pour la population du Fokontany d'Ambola est faisable dans tous les aspects notamment en terme techniques, et financière. Ce projet peut être rentable pour le développement économique dans le Fokontany d'Ambola pour les années à venir car les charges fixes ne présentent que 61 % de la recette annuelles en se basant sur l'année de référence 2015. Cependant sa rentabilité dépendra de la conviction et volonté des usagers à s'approvisionner et à payer l'eau potable de la station de désalinisation.



CONCLUSION GENERALE

Pour conclure, l'étude présentée dans ce mémoire a permis de comprendre la situation précaire des habitants du Fokontany d'Ambola en termes d'accès à l'eau potable. Ce dernier est conditionné par un type de climat semi-aride, chaud et sec. Toutefois, les eaux de surface sont disponibles en quantité insuffisante du fait qu'elles sont rapidement infiltrées et asséchées. D'autre part, l'infiltration marine s'étend et se traduit par la contamination saline des nappes d'eau souterraine. Or, la majorité de la population locale n'a accès qu'à de l'eau salée et dans des conditions hygiéniques précaires, ce qui favorise la propagation de maladies d'origine hydrique. Le choix de notre sujet d'étude repose sur le constat de la difficulté d'approvisionnement en eau potable, l'insuffisance des infrastructures pour fournir l'eau potable, des raisons d'ordre sanitaire, d'ordre climatique et en fin la situation géologique et hydrogéologique de la zone cible.

Selon les résultats d'analyse des échantillons d'eau des puits sur site et en laboratoire, l'eau des puits présentent une forte minéralisation et des indices de pollution d'origine fécale considérable, provoquant des maladies d'origine hydrique. En outre, les enquêtes confirment l'existence de deux sources de pollution des eaux. D'une part, la pollution d'origine naturelle est matérialisée par la forte minéralisation. Elle est conditionnée par la nature géologique du système aquifère qui est généralement formée de roche calcaire favorisant la dureté des eaux souterraines. A cela s'ajoute le type climat semi-aride chaud et sec qui engendre une forte évapotranspiration, favorisant à son tour la contamination saline des nappes d'eau souterraine par infiltration. D'autre part, il y a aussi la pratique de la DAL et les rejets domestiques près des points d'eaux.

Face à ces fléaux, nous avons proposé une nouvelle technique de production d'eau plus adaptée pour satisfaire les besoins en eau potable de la population : il s'agit d'un système de pompage avec désalinisation. Selon l'étude des besoins, 92 % des eaux traitées par l'unité de traitement sont consommées, ce qui vérifie l'adéquation des ressources avec les besoins en eau potable de la population. L'investissement nécessaire pour la réalisation de ce projet est estimé à **290 435 369** Ar, la taxe de 20 % étant déjà comprise. Sur la base du tarif volumétrique d'achat d'eau qui est évalué à 200 Ar/bidon, le taux de revenus annuels est estimé à **20 916 000** Ar pour l'année de référence 2015.

Cette étude technique confirme donc l'utilité et la nécessité de la réalisation de ce projet dans la région concernée, ainsi que la possibilité de sa concrétisation.



BIBLIOGRAPHIE

- [01] : INSTAT, 2015. Projections démographiques 1993-2030. Rapport final. 26 pages.
- [02] : JEAN R, 2009. Analyse de l'eau 9^e édition. Chapitre 1 : Détermination de la dureté, Chapitre 2: Ligne directrice pour la conservation et la manipulation des échantillons d'eau, chapitre 3 : Guide de prélèvement d'eau souterraine. 1578 pages.
- [03] : Paul et Clark, 1988. Memento technique de l'eau. Chapitre 2, Eau de mer et eau saumâtre. 1426 pages.
- [04] : RACHID A, 2007, Eléments d'hydrogéologie souterraine. 314 pages
- [05] : RAKOTONDRAINIBE. J. H, 2005. Les huit zones hydrogéologiques et principales nappes de Madagascar. 23 pages
- [06] : RATOVOHARISOA, 2013, Cours d'électricité, ESPA.
- [07] : RAZAFIMBELO. M. R, 1987. Cours de géologie sédimentaire de Madagascar
- [08] : RAZAFINDRABIAZA. L. A, 2014, Etude de faisabilité technique du projet d'adduction d'eau potable. Mémoire d'Ingénieur Géologue, ESPA.84 pages.
- [09] : ZOKIMILA. N. P, 2015, Cours d'hydrogéologie, ESPA.



WEBOGRAPHIE

- [10] : <http://www.Trunz Brackish Box 003.com/> Récupéré le 19/08/15
- [11] : <http://www.Mise en œuvre de la GIRE à Madagascar. RAKOTONDRAINIBE. J. H,>
Récupéré le 19/08/15
- [12] : <http://www.Différents systèmes de dessalement.com/> Récupéré le 19/08/15
- [13] : <http://www.Wikipédia 2015/ pression osmotique/>
- [14] : <http://www.Wikipédia 2015/ principe d'osmose inverse/>
- [15] : <http://www.Wikipédia 2015/Osmose inverse/> Récupéré le 19/08/15
- [16]: <http://www.Trunz Brackish Box 003.com/>
- [17] : <http://www.Wikipédia/ La perméation/> Récupéré le 19/08/15
- [18] : <http://www.module solaire photovoltaïque/> Récupéré le 19/08/15
- [19] : <http://www.Pompe immergé/> Récupéré le 19/08/15

ANNEXES

Annexe 1 : Plan de masse du projet

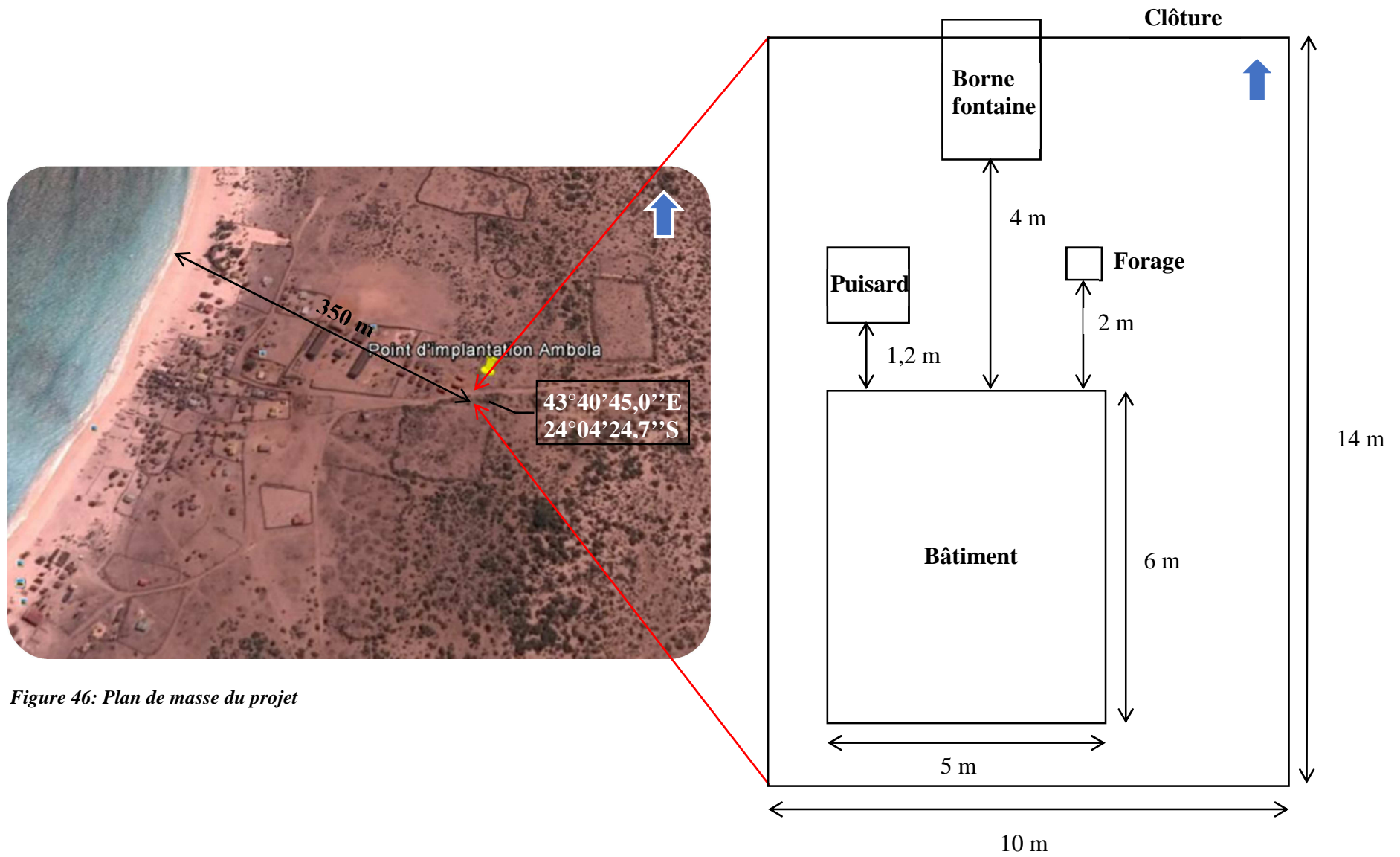
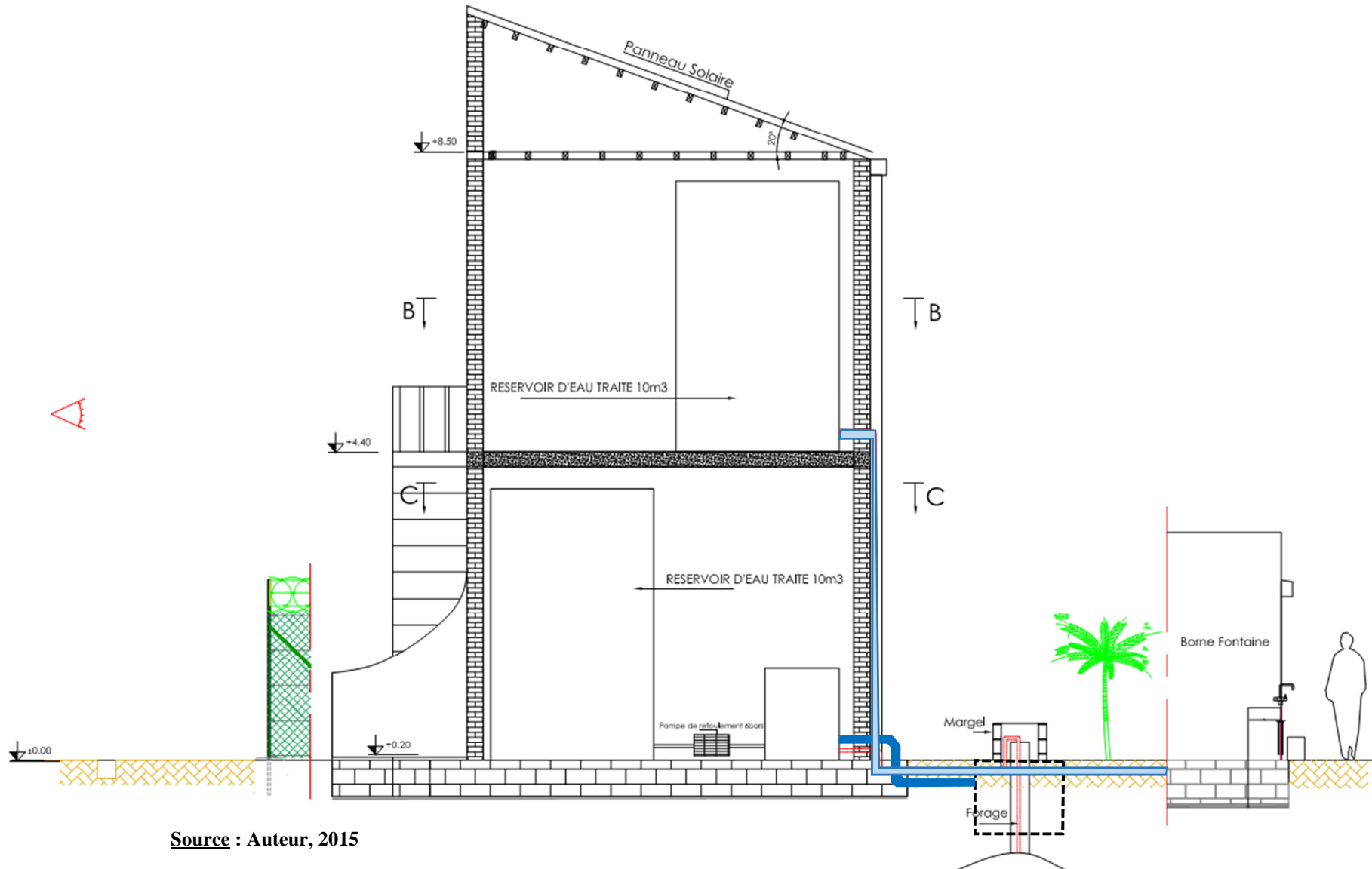


Figure 46: Plan de masse du projet



Annexe I : Plan de disposition et dimensionnement des ouvrages

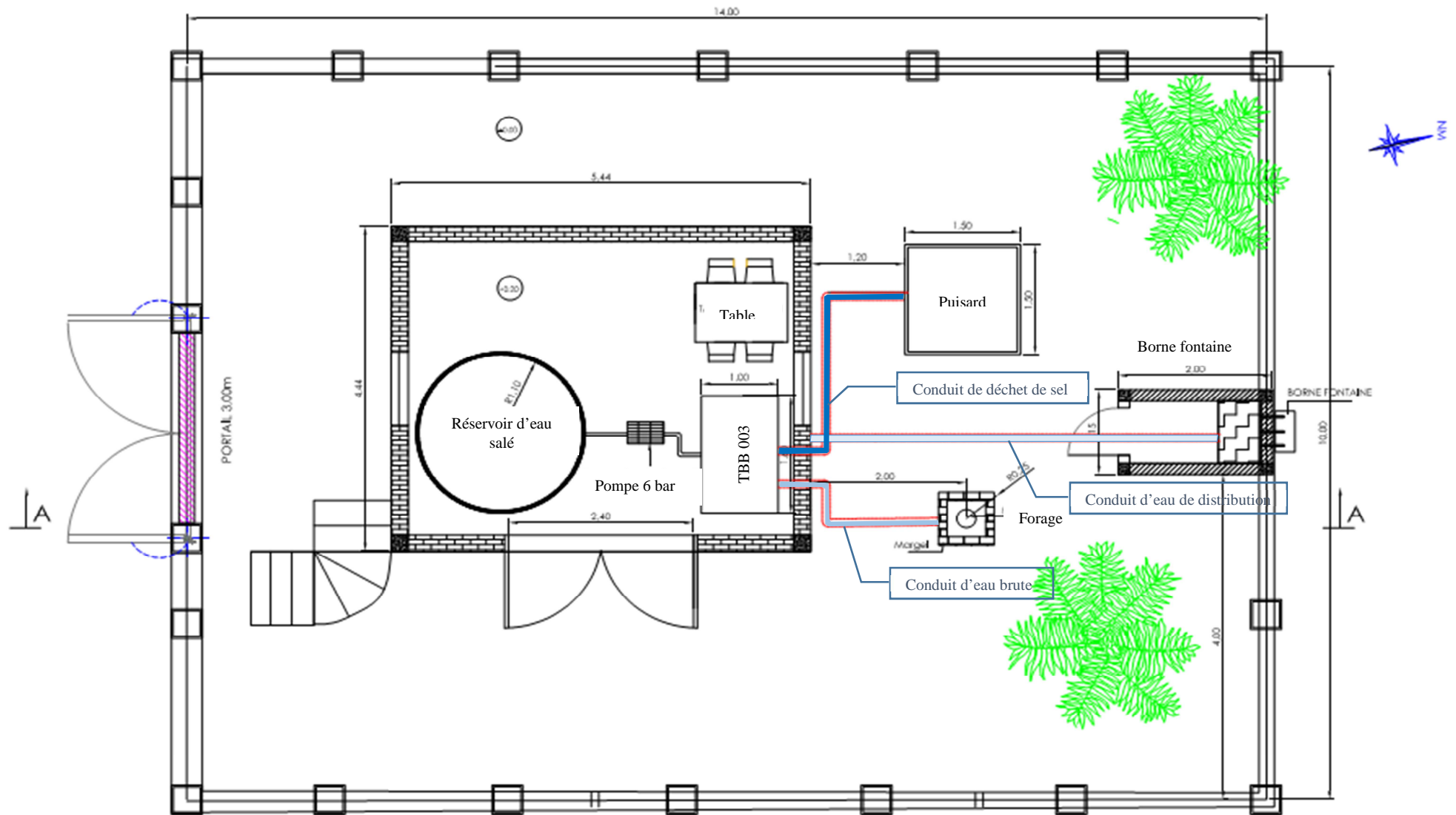
Plan élévation : COUPE A-A



Source : Auteur, 2015



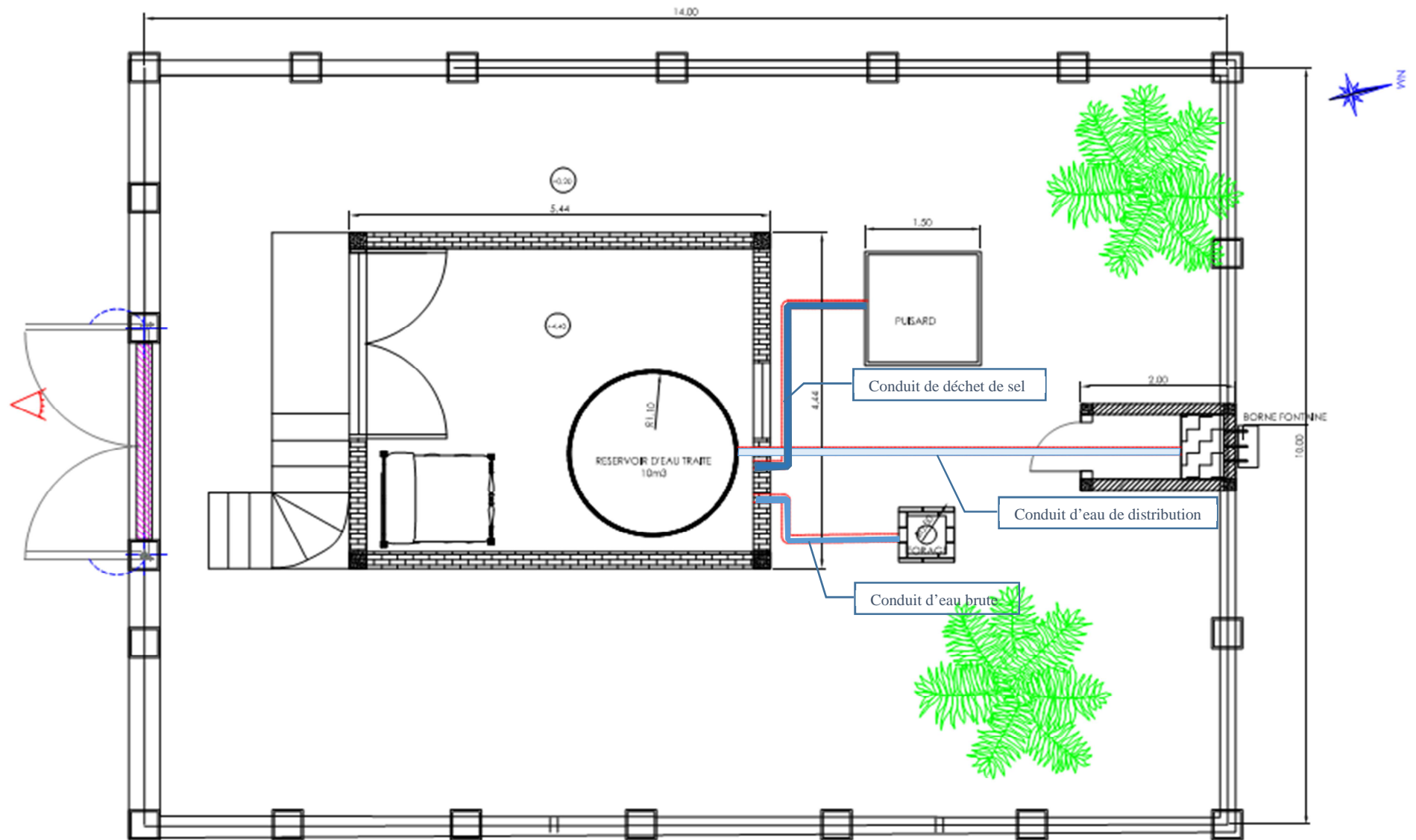
Plan de la RDC : COUPE C-C



Source : Auteur, 2015



Plan étage 1 : COUPE B-B



Source : Auteur, 2015

**Annexe 2 : Calcul de débit théorique par la méthode Authossere**

La méthode Authossère consiste à exploiter un tableau résumant les résultats d'essais de pompage effectué à un certain temps et donnant les valeurs de débits spécifiques en relation avec la lithologie et la transmissivité T. Le type de nappe dans notre zone d'étude présente une lithologie de sable grossier et grés sableux. En se référant à la méthode Authossère et en considérant l'hypothèse la plus basse, c'est-à-dire, la valeur de la transmissivité la moins importante soit, de 5×10^{-4} [m²/s], disposant d'un débit spécifique estimé à **1,316 [m³/h/m]** avec un niveau statique $N_s = 4$ [m].

Les principes de calcul sont les suivants :

- Interpréter la nature lithologique des terrains aquifères de la zone étudiée

D'après les données de forage, la nature lithologique est un aquifère de type sable grossier pour la première nappe et grés sableux pour la seconde et qui sont des nappes captives.

- Evaluer la transmissivité (T), et évaluer le débit spécifique (Q_s) en utilisant le tableau Authossère :

Dans notre cas, nous allons considérer la valeur la plus proche qui est celle de la nappe de sable argileux à grain moyens à grossier, la transmissivité (T) est d'ordre de 5×10^{-4} [m²/s] avec un débit spécifique (Q_s) d'ordre de 1,316 [m³/h/m].

- Estimer le niveau statique rencontré dans la zone étudiée en exploitant les données de base existantes :

Le niveau statique (N_s) est d'ordre de 4 [m]

- Estimer alors la profondeur totale de l'ouvrage (P_t) pour déduire la valeur de la colonne d'eau (H) :

$$H = P_t - N_s ; H = 20 - 4 = 16 \text{ mètres}$$

- Calculer ainsi le rabattement maximal admissible (s)

$$s = H \times 2/3 ; s = 16 \times 2/3 = 10,67 \text{ mètres}$$

- En fin, le débit d'exploitation est égal à :

$$Q_{exp} = Q_s \times s ; Q_{exp} = 1,316 \times 10,67 = 14,04 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

**Annexe 3 : Dimensionnement du panneau solaire**

Le tableau 42 présente les caractéristiques des divers matériels électriques ou récepteurs :

Tableau 46: Caractéristique des matériels électriques

Désignation	Nombre	Puissance [W]	h/j	Ci	Ej [Wh/j]
Eclairage int	2	15	12	0,9	324
Eclairage ext	3	15	12	0,8	432
Pompe immergé	1	250	6	1	1 500
TBB 003	1	650	14	1	9 100
Sommes	7	930		Total	11 356
Nombre	1	2	3	4	>150
Ci	1	0,9	0,8	0,7	0,35

Source : Auteur, 2015

Ci est le coefficient de simultanéité

La consommation par jours est l'ordre de $E_j = 11\ 356$ [Wh/jours]

- **Batterie**

Le choix de la batterie est orienté selon la valeur de P_i :

$$200[W] < P_i = 930[W] < 1\ 000[W]$$

Alors, on utilise une batterie 24 [V] et 100 [Ah]

Avec un coefficient de décharge $K_d = 0,6$ et une autonomie de Nb jours = 1j

La capacité total est de $C_T = 788,61$ [Ah]

Donc, pour notre installation, on a 8 batteries de 24 [V] et 100 [Ah]

- **Régulateur**

Pour une tension minimale U_{\min} de 22,8 [V], la capacité I_{reg} du régulateur est d'ordre de 40,79 [A]

- **Panneau solaire**

La puissance crête P_c , est une unité de mesure représentant la puissance maximale d'un dispositif.

Le coefficient de perte K_p est d'ordre de 0,55 et l'ensoleillement E_i d'ordre de 5 kWh/m²

Alors la puissance crête P_c , est de 4 129,45 [W].

Pour couvrir cette puissance, il faut 10 modules solaires de 450[W].



Annexe 4 : Dimensionnement des réservoirs

Les deux réservoirs ont été dimensionnés directement selon le volume total des besoins en eau potable journalière de la population ainsi que la capacité de production d'eau potable de la TBB 003. Selon nos calculs, le temps mis par les consommateurs à consommer leur besoin journalier est plus court que celui de production d'eau potable de la TBB 003 pour couvrir ce type besoin pour une journée. Effectivement, il est donc impératif de manœuvrer le système de désalinisation pour une avance d'une journée pour le remplissage des réservoirs d'eau potable de 10 m³ sans distribution que le deuxième jour mais seulement au démarrage.



Annexe 5 : Dimensionnement de la borne fontaine

Trois BF constituent la distribution au niveau de l'unité de désalinisation.

Le débit d'une BF est obtenu par la formule : **[08]**

$$Q_{BF} = \max(Q_p ; 0, 2)$$

Pour avoir le débit de chaque BF, il est nécessaire de trouver les débits de pointes Q_p pour chaque Borne, en tenant compte qu'une borne fontaine couvre 280 habitants. Ce débit est obtenu par la formule suivante : **[08]**

$$Q_p = V_p/T \times 3\,600$$

Avec :

Q_p : débit de pointe

V_p : volume puisé pour 280 habitants

T : temps de prélèvement

Alors pour 280 habitants, $Q_p = 0,08$ l/s.

Donc le débit à la borne de chaque BF est égal à **0,20 l/s**



Tableau 47: Principales nappes résultant des campagnes de forage dans la région

Type d'aquifère	Lithologie	Type de porosité	Type de nappe	ns (m)	Profondeur d'ouvrage (m)	Epaisseur d'aquifère (m)	Qualité de l'eau	Débit spécifique (l/s/m)
Nappe d'alluvions	Sables argileux	Poreux	Captive	2 à 3	20	10	Eau douce; bicarbonatée calcique	1 à 5
Nappe de sable de plage	Sable fins	Poreux	Libre	2 à 3	5 à 10	1 à 5	Douce à saumâtre; parfois salée	0,4 à 2,61
Nappes des sables argileux supérieurs	Sable argileux	Poreux	Libre	2 à 3	10 à 15	5 à 10	Douce à saumâtre; parfois salée	0,6 à 11
Nappes du Quaternaire ancien	Sables argileux fins	Poreux	Libre	5 à 10	50 à 150	1 à 10	Saumâtre	0,04 à 0,55
Nappes du Néogène	Grès sableux	Poreux	Libre	2 à 3	50 à 150	1 à 5	Saumâtre à salé	0,019 à 1,55
Nappes de l'Eocène	Calcaire	Karstique	Libre	5 à 10	50 à 100	1 à 50	Douce	1,8 à 68
Nappes du Crétacé	Grès sableux; parfois grès calcaire; parfois basalte	Poreux	Libre ou captif ou artésien selon la structure géologique		50 à 150	50	Douce	1 à 14
Nappe rencontrée dans le forage pétrolier artésien de Manera)	Calcaire	Karstique	Libre ou captif ou artésien à grande profondeur selon la structure géologique		428			239 (l/s)
Nappes de l'Isalo	Sable - gréseux	Poreux	Libre ou captif ou artésien selon la structure géologique	15 à 20	50 à 150	50	Douce	6 (l/s)

Source : RAKOTONDRAINIBE J. H, 2005

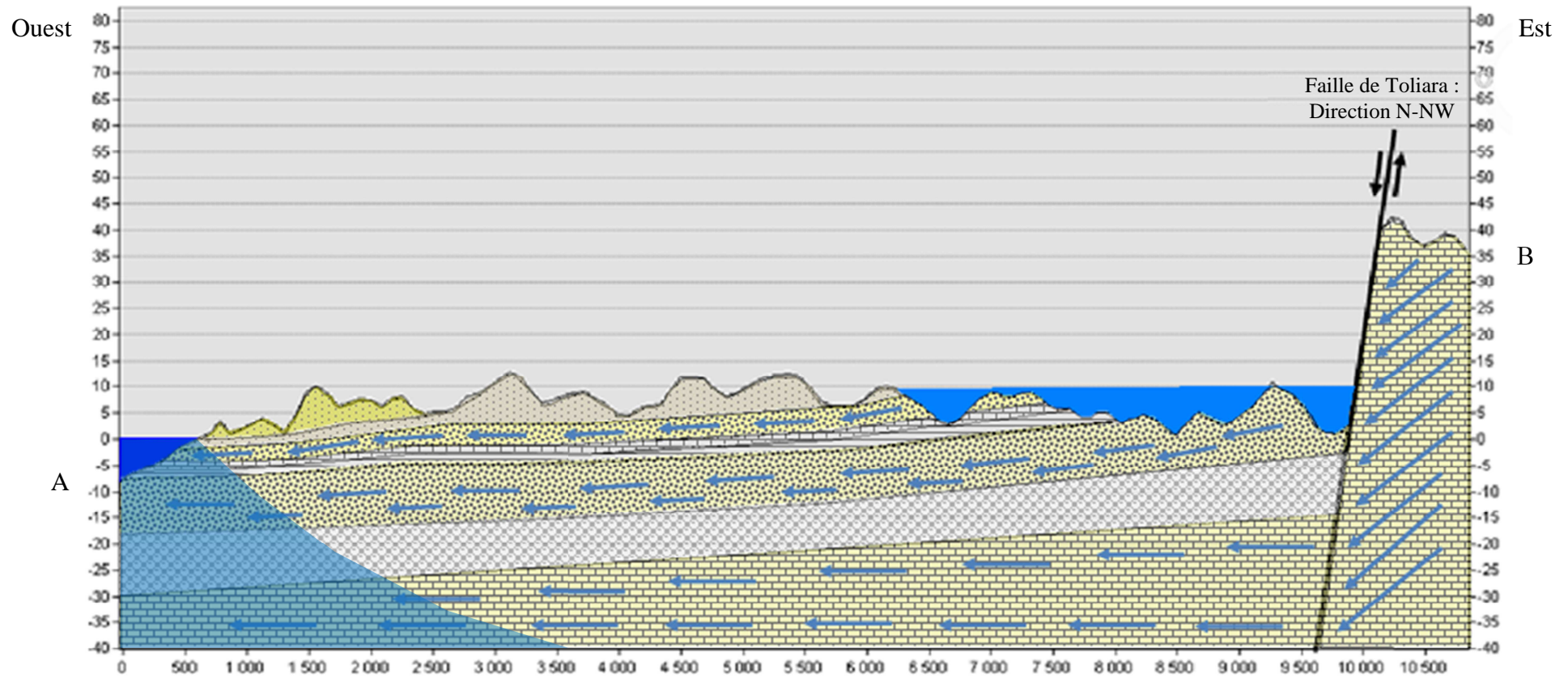


Figure 47: Coupe géologique de la zone d'étude suivant un trait de coupe A-B de direction Est-Ouest

Source : Auteur, 2015

$$E = \frac{1}{50\,000}$$

Légende :

- | | | |
|--|--------------------------|-------------------|
| Dunes vives d'Ere quaternaire | Plaquette de calcaire | Sens d'écoulement |
| Dunes moyennes d'Ere quaternaire | Sable grossier | Lac |
| Sable fin à grossier argileux avec concrétions calcaires | Grès consolidé | Mer |
| Banc calcaire compacte fissuré | Calcaire d'Ere tertiaire | |



Figure 48: TRUNZ BRACKISH BOX 003

Source : [16]

Tableau 48: Fiche caractéristique de la TBB 003

Dimensions	L*I*H	1600 x 1000 x 1150 mm
Poids	net	641 kg
Technologie de filtrage		Osmose inverse (RO)
Source d'eau		Puits, rivière, lac, trou de forage
Pollution		Impuretés organiques et anorganiques, teneur en sel dissoute jusqu'à TDS d'ordre de 18 000 mg/l
Qualité de l'eau		Eau potable conforme aux normes de potabilité internationale
Application / Installation		Locale / installation durable
Capacité		Moyenne 650 l/h
Pré-filtre autonettoyant	4 pc	1x 100 microns, 2x 50 microns, 1x 5 microns
Membrane	4 pc	Osmose inverse (eau saumâtre)
Filtre à charbon actif	1 pc	20 microns
Alimentation électrique		Secteur ou installation solaire ou éolienne
Consommation électrique de l'installation		650 W
Consommation électrique totale	-	900 W
Batteries		24 V, 8*100 Ah
Raccordement électrique		Solaire, 24 V CC
Commande		Numérique
Pompe ; HMT	1 pc	Max. 1500 l/h ; 45 mètres
Pompe de refoulement	1 pc	Moyenne 6 bars
φ tuyau		40 mm
Température de l'eau min./max.		0/45° C
Température de l'air min./max.		0/50° C
pression d'opération		Max 30 bar

Source : [10]

Les figures 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 montrent les principaux éléments constituant de la TBB 003. *Source* : Auteur, 2015



Figure 49: Moniteur de la TBB 003



Figure 50: Tableau d'affichage de l'opérateur



Figure 51: Circuits de commande



Figure 52: Filtre 5µm et réservoir du Back flush



Figure 53: Filtre à charbon actif et module spirale



Figure 54: Filtre 100µm et deux filtres 25µm



Figure 55: Batteries de 24 V 100 Ah



Figure 56: Deux vaisseaux de pression



Tableau 49: Critères de qualification des variantes pour l'alimentation électrique

Type d'alimentation	Critère à étudier		Qualification
	Avantages	Inconvénients	
Groupe électrogène	Il peut fonctionner à n'importe quel moment que ce soit nuit ou jour tant qu'il reste assez de carburant et il est facile à installer.	Son utilisation implique un surplus de dépense pour l'achat du carburant et cela augmentera le prix du m ³ d'eau.	En comparant ces deux critères, ce type d'alimentation présente plus d'inconvénients que d'avantage et ces derniers ne peuvent-être remédié.
		L'achat du carburant est loin qui est à 90 Km du village dans la ville de Tuléar, sa conservation et son transport implique une difficulté par rapport l'accessibilité et à la chaleur.	
Panneau solaire	Au cours de son fonctionnement, il ne crée aucun bruit et ne pollue pas l'air et ne demande pas de carburant pour fonctionner. Grâce à la cellule photovoltaïque qui le compose, il peut fonctionner même sous la pluie.	Il ne peut fonctionner que le jour grâce à l'énergie solaire. Durant les saisons de pluie, sa performance pourrait s'abaisser par rapport à l'énergie solaire qu'il capte mais généralement il marche toujours même sous la pluie.	En tenant compte des données climatiques de la région, l'ensoleillement dure en moyenne de l'ordre de 10 heures par jours. En effet, plus l'énergie stockée par la batterie, la durée de fonctionnement de la TBB 003 va augmenter.
	L'énergie solaire qu'il capte peut être aussi conservée grâce aux batteries de la TBB 003. En effet, sa durée de fonctionnement augmente	Son installation est plus difficile et demande plus d'espace pour bien caper l'énergie solaire	
Eolienne	Au cours de son fonctionnement, il ne crée aucun bruit et ne pollue pas l'air et ne demande pas de carburant pour fonctionner.	Il demande une période d'essai plus large au moins une année pour évaluer le flux des vents maximaux dans la région par rapport à son emplacement, la position et la hauteur des pales.	L'utilisation de l'énergie éolienne est plus convaincante par rapport à celui du groupe électrogène, mais face à l'énergie solaire, elle demande une sur plus d'étude et une période d'essai plus long alors que l'énergie qu'ils développent sont similaires.
	L'énergie du vent qu'il capte peut être aussi conservée grâce aux Batteries de la TBB 003. En effet, sa durée de fonctionnement augmente		
	Il peut fonctionner jours et nuit tant que le vent est assez fort.		

Source : Auteur, 2015



Table des matières

REMERCIEMENTS	i
SOMMAIRE	ii
Liste des figures	iv
Liste des tableaux	vii
Liste des annexes.....	ix
Liste des abréviations	x
Glossaire.....	xi
INTRODUCTION.....	1
<u>Première partie: Généralité sur la zone d'étude et méthodologie</u>	
I.1. Généralité sur la zone d'étude.....	4
I.1.1. Localisation géographique et accessibilités	4
I.1.1.1. Région Atsimo-Andrefana	4
I.1.1.2. District de Toliara II.....	4
I.1.1.3. Commune rurale Efoetsy	4
I.1.1.4. Accessibilité	4
I.1.2. Topographie du terrain.....	6
I.1.3. Contexte hydrogéologique et géologique	6
I.1.4. Infrastructures sociales.....	9
I.2. Démarches pour l'élaboration du projet de mémoire.....	11
I.2.1. Travaux de documentation bibliographique	11
I.2.2. Etude sur terrain	11
I.2.2.1. Analyse de la qualité de l'eau	13
a. Méthode d'échantillonnage et d'analyse	14
b. Analyse des paramètres organoleptiques	16
b.1. Couleur	16



b.2. Odeur	16
b.3. Saveur	16
c. Analyse des paramètres physiques	16
c.1. Mesure de la conductivité.....	16
c.2. Mesure de la température de l'eau.....	16
c.3. Mesure de la minéralisation totale et salinité de l'eau.....	17
I.2.2.2. Enquête sur les maladies d'origine hydrique	17
I.2.2.3. Enquête sur les sources de pollution des eaux	18
a. Pollution d'origine naturelle.....	18
b. Pollution d'origine anthropique	19
I.2.2.4. Evaluation du besoin en eau potable.....	19
a. Nombre total de la population	19
b. Estimation des besoins en eau potable	20
c. Calcul du volume puisé V	20
d. Calcul du débit et coefficient de pointe horaire	21
d.1. Calcul du débit de pointe Q_p	21
d.2. Calcul du coefficient de pointe C_p	21
e. Evaluation du prix d'achat d'eau.....	22
I.2.2.5. Reconnaissance hydrogéologique	22
a. Travaux de forage.....	23
b. Evaluation du débit théorique	24
c. Application de la méthode Authossère.....	24
I.2.3. Analyses en laboratoire.....	25
I.2.3.1 Analyse des paramètres chimiques	25
a. Analyse volumétrique.....	26
b. Analyse colorimétrique	26



I.2.3.2. Analyse des paramètres microbiologiques.....	28
a. Méthode par filtration.....	28
b. Méthode par incorporation.....	32

Deuxième partie: Présentation des résultats et interprétations

II.1. Résultats des analyses de la qualité de l'eau	36
II.1.1. Paramètres organoleptiques.....	36
II.1.2. Paramètres physiques	37
II.1.2.1. Température.....	38
II.1.2.2. Evapotranspiration réelle ou ETR	39
II.1.3. Résultats d'analyse physico-chimique (DEXO).....	42
II.1.3.1. Interprétation des paramètres physiques.....	43
a. Turbidité	43
b. Potentiel hydrogène ou pH.....	43
c. Conductivité	44
d. Minéralisation.....	44
e. Matières en suspension.....	44
f. Titre hydrotimétrique	44
g. Titre alcalimétrique	45
II.1.3.2. Interprétation des paramètres chimiques	46
a. Cycle de l'azote	46
b. Réactions avec la matière organique	47
c. Lessivage	48
d. Contamination saline des aquifères par le sel de mer	48
II.1.4. Bulletin d'analyse bactériologique (DEXO)	50
II.2. Résultat des enquêtes sur terrain	53
II.2.1. Résultats des enquêtes sur les maladies d'origine hydrique.....	54



II.2.2. Résultats des enquêtes sur l'évaluation du besoin en eau.....	56
II.2.2.1. Nombre total de la population	56
II.2.2.2. Estimation des besoins en eau potable de la population.....	56
II.2.3. Résultat de l'évaluation du prix d'achat d'eau	58
II.3. Résultats des études de reconnaissance hydrogéologique	59
II.3.1. Résultats de la récupération des cutting par forage	59
II.3.2. Résultats du rainurage des puits traditionnels	61
II.3.3. Résultats de l'évaluation du débit théorique.....	64

Troisième partie: Discussion et propositions

III.1. Discussion	66
III.1.1. Discussion sur les méthodes.....	66
III.1.2. Discussion sur les différents résultats	67
III.2. Proposition du système de traitement par désalinisation	70
III.2.1. Définition et principe de désalinisation.....	70
III.2.1.1. Définition	70
III.2.1.2. Objectif.....	70
III.2.1.3. Osmose	71
III.2.1.4. Pression osmotique.....	72
III.2.1.5. Principe d'osmose inverse.....	73
III.2.2. Trunz Brackish Box 003 ou TBB 003.....	74
III.3. Conception et installation du système AEPP avec l'unité de désalinisation.....	76
III.3.1. Analyse de l'adéquation ressource et besoin.....	76
III.3.2. Dimensionnement des ouvrages AEPP avec la TBB 003	77
III.3.2.1. Dimensionnement des ouvrages de captage.....	78
III.3.2.2. Dimensionnement des ouvrages de traitement.....	80
a. Prétraitement.....	81



b. Désalinisation	81
c. Purification	82
III.3.2.3. Dimensionnement des ouvrages de stockage	83
a. Système de vidage	83
b. Sonde de niveau d'eau.....	83
c. Conduits d'eau et point de distribution	83
III.3.2.4. Dimensionnement des équipements électriques.....	84
a. Pompe immergée	84
b. Panneau solaire.....	84
c. Notion de base d'électricité	85
III.3.3. Estimation du coût du projet	86
III.3.3.1. Recette estimée pour le projet	87
III.3.3.2. Charges fixes	88
a. Coût de maintenance et renouvellement des matériels.....	88
b. Charge des personnels	88
III.4. Aspect environnementale du projet.....	89
III.4.1. Analyse des impacts spécifiques	89
III.4.1.1. Phase d'étude.....	90
III.4.1.2. Phase de construction	91
III.4.1.3. Phase d'exploitation	93
III.4.2. Mesures d'atténuations.....	93
CONCLUSION GENERALE	95
BIBLIOGRAPHIE	96
WEBOGRAPHIE.....	97



Nom: RAKOTOZAFY

Prénom: Heriniaina Victor

Contact: +261 33 76 428 07 / +261 34 12 284 58

Mail: rakotozafyheriniainavictor@yahoo.com

Titre du présent mémoire :« ETUDE DE PREFAISABILITE TECHNIQUE DU PROJET D'ADDUCTION D'EAU POTABLE PAR POMPAGE SUIVI DE DESALINISATION AU FOKONTANY D'AMBOLA DANS LA COMMUNE RURALE D'EFOETSY, ZONE COTIERE DU DISTRICT DE TOLIARA II.»

Nombre de pages :	97	Annexes :	10
Nombre de tableaux :	49	Nombre de figures :	56

RESUME

A l'issu de l'étude que nous avons mené dans le Fokontany d'Ambola, nous avons constaté que les ressources en eau souterraine sont abondantes et peu profondes mais l'eau qui en résulte est polluée. Incontournable, la source de pollution est principalement d'origine naturelle, engendrant différentes maladies hydriques. Avancée comme solution pour augmenter l'accès en eau potable dans la région que nous avons étudié, la désalinisation est une technique assez courante. Mais compte tenu de sa capacité de production d'eau potable d'ordre de 650 l/h, elle élimine le sel à 99,9 % et toutes les impuretés sans ajout de produits chimiques, et ce, à partir d'eau de puits côtiers, notamment saumâtre. Dans notre étude nous avons pris en considération les types de besoin essentiel en eau destiné à la consommation. Ce dernier est évalué à 10 l/j/hab avec un tarif volumétrique d'ordre de 200 Ar/bidon. Sur cette base, le taux de revenus annuels est de 20 916 000 Ar pour l'année de référence 2015, dont seulement 81 % de ce dernier présente la charge fixe. Le montant total de la mise en place du projet cité dans ce mémoire s'élève à 288 035 369 Ar, comprenant la taxe sur les valeurs ajoutées au taux de 20%. Effectivement, selon cette étude, ce projet s'avère nécessaire, efficace et faisable du point de vue technique et financier. C'est une solution pertinente au fléau causé par la pollution des eaux souterraines pour la population locale du Fokontany d'Ambola.

ABSTRACT

At the end of the study we conducted in the Ambola Fokontany, we found that groundwater resources are abundant and shallow, but the resulting water is polluted. The source of pollution is mainly natural, causing various waterborne diseases. Desalination is a fairly common technique as a solution to increase access to drinking water in the area we have studied. However, given its 650 l / h potable water production capacity, it removes 99,9% salt and all impurities without addition of chemicals needed from well water Coastal areas, including brackish. In our study, we considered the types of essential water needs for consumption which is estimated at 10 l/d /person with a volumetric tariff of 200 Ar / can. On this basis, the annual revenue rate is estimated at 20 916 000 Ar for the reference year 2015, of which only 81% of the latter has the fixed charge. The total amount of the implementation of the project cited in this submission amounts to 288 035 369 Ar, including the tax on values added at the rate of 20%. Indeed, according to this study, this project is necessary, effective and technically and financially feasible. It is a relevant solution to the trouble caused by the pollution of groundwater for the local population of the Fokontany of Ambola.

Mots clés: alimentation en eau potable, ressource en eau souterraine, désalinisation.