

Liste des abréviations.

- AEP** : Adduction (Approvisionnement) en Eau Potable.
- AEPG** : Adduction (Approvisionnement) en Eau Potable Gravitaire.
- CHD** : Centre Hospitalier de District.
- COA** : composés organiques assimilables.
- COT** : carbone organique total.
- C_t** : combinaison concentration-temps exprimé en mg-min/L.
- CTGREF** : Centre technique de Génie Rural et des eaux et forêts.
- D** : le diamètre de la conduite.
- Δh** : la perte de charge singulière.
- EPP** : Ecole Primaire Publique.
- °F** : Degré français.
- HMT** : hauteur manométrique totale.
- IPM** : Institut Pasteur de Madagascar.
- JIRAMA** : Jiro sy Rano Malagasy.
- LWW** : Living Water for the Word.
- MES** : Matières en suspensions.
- Mg** : Formule chimique du magnésium.
- M.O** : Matières organiques.
- N.F** : Normes Françaises.
- NM** : Norme Malagasy.
- SAF/FJKM** : Sampan'Asa Fampandrosoana / Fiangonan'I Jesoa Kristy eto Madagasikara.
- T** : Période de Retour.
- TA** : Titre alcalin métrique.
- TAC** : Titre alcalin métrique complet.
- TH** : Titre Hydrométrique.
- THM** : Trihalométhanes.
- VMA** : Valeur Maximale Admissible pour une eau potable.

Liste des annexes.

Annexe 1 :	Les normes de potabilité.....	93
Annexe 2 :	Les formules utilisées pour les calculs des pertes de charge linéaire.	98
Annexe 3 :	Tableaux de dimensionnement des conduites	101
Annexe 4:	L'apport du bassin versant pour les périodes de retour données.....	106
Annexe 5 :	Calculs des prix pour la comparaison du prix de l'eau sortant d'une unité compacte de traitement avec le prix de la JIRAMA.....	110

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES 

Liste des tableaux.

Tableau 1 : Taux limites de présences des ions et de régimes et méthode d'analyse.....	11
Tableau 2 : Référence sur les normes de potabilité physico-chimiques de la JIRAMA.....	12
Tableau 3 : Référence sur les normes malgache de potabilité bactériologique.	13
Tableau 4 : Les cotes en mètre des points particuliers de l'AEP de Manakavaly.....	19
Tableau 5 : La pluie annuelle en mm et 1/10 mm de Manakavaly depuis 1968 jusqu'au 1998.	20
Tableau 6 : Tableau récapitulatif des dimensions des compartiments et les granulométries des massifs filtrants du filtre construit en 1968.....	29
Tableau 7 : Les caractéristiques des conduites de distribution.....	31
Tableau 8 : Tableau récapitulatif des granulométries des massifs filtrants après la réhabilitation de 2008.....	35
Tableau 9 : Apport annuel sur le bassin versant du lac d'Amparihiroa par la méthode de CTGREF pour les périodes de retours données.....	42
Tableau 10 : Coefficients de répartition de pluie d'Aldegheri pour les hautes terres centrales.	43
Tableau 11 : Coefficients de répartition des apports déduits des coefficients l'Aldegheri....	43
Tableau 12 : Répartition mensuelle des apports par la méthode CTGREF en périodes quinquennale sèche et décennale sèche.	43
Tableau 13 : Répartition mensuelle des apports par la méthode CTGREF en périodes quinquennale humide et décennale humide.	43
Tableau 14 : Apport annuel en l/s sur du bassin versant sur le lac d'Amparihiroa par la méthode de la station de référence pour les périodes de retour données....	44
Tableau 15 : Répartition mensuelle des apports en période quinquennale sèche et décennale sèche.....	44
Tableau 16 : Répartition mensuelle des apports en l/s en période quinquennale humide et décennale humide.	44
Tableau 17 : Les débits pris sur terrain.....	44
Tableau 18 : Bilan hydrique du bassin versant du lac d'Amparihiroa en période décennale sèche.....	45
Tableau 19 : Sous détail de prix du coût de la réhabilitation de la conduite d'aménée.....	47
Tableau 20 : Sous détail de prix du coût de la réhabilitation de la conduite de distribution.	48
Tableau 21 : Sous détail de prix de la réhabilitation d'un ouvrage annexe.	50
Tableau 22 : Caractéristiques de la pompe fournie avec le système d'ozonation.	58
Tableau 23 : Référence de dimensions d'objets communs.	60

ANDRIA-MAROTSIHOARANA Vahatra.

Tableau 24 : La dose d'ozone par le temps de contact exigée pour le traitement de quelque exemple de microorganismes.....	65
Tableau 25 : Les concentrations d'ozone, temps de contact et C_t pour quelque microorganisme selon les recommandations de l'OMS pour l'utilisation de l'ozone comme désinfectant.....	65
Tableau 26 : Dimension de quelques microorganismes avec leurs formes actives et leurs traitements.....	73
Tableau 27 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux à Manakavaly.	75
Tableau 28 : Résultats des analyses bactériologiques des eaux à Manakavaly.	78
Tableau 29 : Temps utiles pour un traitement efficace.....	79
Tableau 29 : Comparaison tarifaire d'une eau traitée par un poste d'ozonation avec l'eau de la JIRAMA (1 ^{er} cas).	81
Tableau 30 : Comparaison tarifaire d'une eau traitée par un poste d'ozonation avec l'eau de la JIRAMA (2 ^{ème} cas).....	82
Tableau 31 : Les impacts de la réalisation du projet.	87
Tableau 32 : Les impacts de l'exploitation du projet.....	87

Liste des figures.

Figure 1 : Schéma type de la chaîne de traitement classique d'une eau de surface.	3
Figure 2 : Schéma d'un réseau ramifié.	14
Figure 3 : Schéma d'un réseau maillé.	14
Figure 4 : Plan de situation de Manakavaly.	16
Figure 5 : Une vue aérienne sur le CHD de Manakavaly.....	17
Figure 6 : Vue aérienne de la végétation du bassin versant du lac d'Amparihiroa.	21
Figure 7 : Schéma de l'AEP de l'hôpital depuis 1987 jusqu'à la première réhabilitation de 1968.	24
Figure 8 : Schéma de l'AEP de l'hôpital après la réhabilitation de 1968.....	26
Figure 9 : Vue en plan et coupe verticale du filtre construit en 1968.	28
Figure 10 : Vue en plan et coupe verticale du réservoir.....	30
Figure 11 : Plan de masse du côté sud-est de l'hôpital après la réhabilitation de 2008.....	32
Figure 12 : Plan de masse du côté nord-ouest de l'hôpital.	33
Figure 13 : Représentation de l'AEP de l'hôpital après les réhabilitations de 2008.....	34
Figure 14 : Coupe transversale du filtre après la deuxième réhabilitation de 2008.	35
Figure 15 : Schéma de l'ouvrage annexe au niveau des barrages.....	49
Figure 16 : L'unité compacte de traitement de Manakavaly.....	56
Figure 17 : Exemple type d'une unité compacte de traitement microfiltration-ozonation....	57

Sommaire.

INTRODUCTION.....	1
1^{ère} Partie : PRESENTATION DE L'ETUDE.....	3
CHAPITRE I... RAPPELS THEORIQUES.....	3
CHAPITRE II: . PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	16
2^{ème} Partie : ETUDE DE LA REHABILITATION DE L'AEP DE MANAKAVALY.....	24
CHAPITRE III: ETUDE DE LA REHABILITATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'AEP DU CHD DE MANAKAVALY.	24
CHAPITRE IV: ETUDE DE L'UNITE DE TRAITEMENT DU CHD DE MANAKAVALY.....	55
CHAPITRE V: ETUDE DE L'EFFICACITE DU TRAITEMENT.....	68
CHAPITRE VI: COUT DE L'EAU TRAITEE PAR L'UNITE COMPACTE ET COMPARAISON AVEC LE PRIX DE LA JIRAMA.....	80
3^{ème} Partie : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET RECOMMANDATIONS SUR L'AEP DE MANAKAVALY.	85
CHAPITRE VII : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	85
CHAPITRE VIII : LES RECOMMANDATIONS SUR L'AEP DE MANAKAVALY....	89
CONCLUSION.....	91
ANNEXES.....	93

INTRODUCTION.

En matière de développement, tout le monde s'accorde, aujourd'hui, à considérer l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène comme des leviers indissociables qui conditionnent la réussite des politiques de lutte contre la pauvreté mais l'accès à l'eau potable est le plus important. Le secteur correspondant n'a pas bénéficié, pour autant, dans les pays en voie de développement de moyens suffisants en rapport avec de tels enjeux. Ainsi, les maladies diarrhéiques continuent de tuer et beaucoup d'enfants restent privés d'eau potable et d'un environnement sain indispensable à la fois à la survie, au développement et à l'épanouissement. Au niveau mondial, plus d'un milliard de personnes ne disposent pas d'eau potable. Par ailleurs, plus de trois millions d'enfants meurent chaque année de maladies d'origine hydrique.

Dans les grandes villes Malgache et certains de ses proximités, l'approvisionnement en eau potable est assuré par la société JIRAMA mais dans les petits villages, si l'approvisionnement en eau, pas forcement potable, existait, c'est l'œuvre d'une ONG spécialisées en eau potable. Pour l'hôpital et à la fois village de Manakavaly, une ancienne léproserie, actuellement un **CHD**, un réseau d'adduction d'eau potable a déjà existé, construit par des missionnaires et réhabilité à deux reprises, mais une grande partie de ce réseau n'est plus utilisable.

Il est évident que l'approvisionnement en eau potable de l'hôpital de Manakavaly ne serait plus fonctionnel après quelque années vu son état actuel. Actuellement, le SAF/FJKM a installé un dispositif pour l'amélioration de l'accès à l'eau potable, ainsi que le traitement des eaux de surface alimentant le système existant.

Pourtant, ce projet se heurte à des problèmes majeurs comme la mauvaise qualité de l'eau de la ressource en période pluviale, l'irrégularité du prétraitement et de la station de traitement (station de filtration), qui nuit le fonctionnement du dispositif mis en place (unité de traitement microfiltration-ozonation) récemment, ainsi que les vieillissements du réseau de distribution existant. La solution consiste à faire la réhabilitation totale de tout le réseau de l'adduction d'eau potable, depuis la prise jusqu'aux consommateurs et utilisateurs, et créer une administration pour la gestion de l'eau potable pour que les habitants bénéficient des avantages de l'accès à l'eau potable et de la bonne santé.

Introduction.

C'est ainsi qu'on a mené cette étude sur : "L'étude de la réhabilitation du réseau de distribution et de l'efficacité de l'unité compacte de traitement microfiltration-ozonation de l'approvisionnement en eau potable du CHD de Manakavaly - District Manjakandriana - région Analamanga". Signalons que l'amélioration de la qualité du réseau et de l'eau a un impact positif sur le classement de l'hôpital sur sa catégorie et aussi, inciter les bailleurs à financer l'hôpital.

L'étude comportera dans son ensemble trois parties :

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

3^{ème} Partie : Étude d'impact environnemental, les recommandations et les conclusions sur l'étude de l'AEP du CHD de Manakavaly.

1^{ère} Partie : PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE.

CHAPITRE I: RAPPELS THEORIQUES.

Pour la réhabilitation de l'AEP du CHD de Manakavaly, on doit mener des études sur une AEP en milieu villageois et le traitement d'une eau de surface.

I.1. Définition d'une AEP et d'une eau potable.

Une AEP est l'ensemble des opérations pour alimenter en eau potable un village ou une ville (cours d'hydraulique urbaine 4^{ème} Année). Normalement, l'AEP comprend : le captage; le traitement ; le stockage et la distribution.

En milieu villageois, si c'est possible, il faut que la ressource domine topographiquement la zone à desservir pour avoir une AEPG.

Une eau potable est une eau qui répond aux normes de potabilité (c'est-à-dire, obéir les normes physico-chimiques, bactériologiques, biologiques...) et ne doit pas faire courir des risques pour la santé des consommateurs à court terme et à long terme (protozoaire et vers parasites).

I.2. Le traitement d'une eau de surface.

En général, une chaîne de traitement complet d'une eau de surface comprend :

- Les Prétraitements : dégrillage; tamisage; dessablage ainsi que les préoxydation (préchloration; préozonation ; autres préoxydations);
- La Clarification : Coagulation-floculation; Décantation; Filtration;
- La Désinfection ;
- la neutralisation.

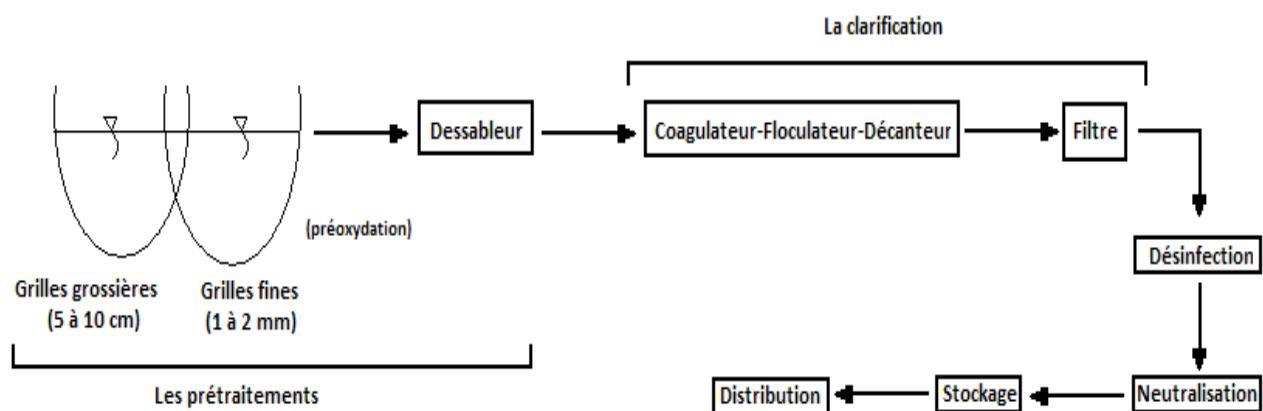


Figure 1 : Schéma type de la chaîne de traitement classique d'une eau de surface.

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.



I.2.1. Les prétraitements.

Avant de procéder au traitement, il faut évacuer de façon simple les éléments les plus grossiers. Pour ce faire, on utilise des moyens mécaniques:

- Le dégrillage ;
- Le tamisage ;
- Le dessablage ou débourbage ;
- La préoxydation

a. Le dégrillage.

Le dégrillage sert à protéger les pompes et les canalisations contre les corps flottants grâce à des barreaux espacés de 5 à 10cm.

b. Le tamisage.

Le tamisage permet, grâce à des grilles à mailles de 0.3 à 3mm, l'évacuation de matière en suspension et notamment algues, herbes, alluvions, insectes, débris végétaux et animaux, etc. ...Il existe également des micro-tamis à mailles de 25 à 100 microns pour éliminer le plancton par exemple.

c. Le dessablage ou débourbage.

Le dessablage a pour but d'extraire les graviers, sables et particules minérales plus ou moins fines pour éviter les dépôts et protéger les appareils contre l'abrasion. Le débourbage est une étape de traitement qui précède la clarification dans le cas d'une eau très chargée en limon ou en sable fin.

d. La préoxydation.

d₁. Objectifs.

La préoxydation a pour but de brûler les matières organiques.

d₂. Méthodes.

La méthode utilisée dépend de l'oxydant utilisé. Ces méthodes sont les suivantes :

- La préchloration ;
- La préozonation ;
- Les autres préoxydations ;

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

La préchloration.

Le chlore se dissout pour former de l'acide hypochloreux HOCl, qui lui-même se dissocie en H⁺ et en OCl⁻. La prédominance de l'espèce est régie par le pH de l'eau.

Il est convenu d'appeler **chlore libre résiduel** le mélange OCl⁻ et HOCl.

Risque:

La préchloration présente l'inconvénient de former des composés organiques chlorés dont les trihalométhanes (THM) qui peuvent avoir des effets nocifs sur la santé de l'homme. Il faut donc éviter une préchloration dans le cas de l'eau brute fortement chargés en matières organiques, car les THM se forment à partir du chlore et de certains composés (ex. les acides humiques).

La préozonation.

Utilisée en remplaçant de la préchloration sur les eaux chargées en matières en suspension et en algues, la préozonation présente les avantages suivants:

- pas de formation de produits chlorés
- favorise la coagulation-flocculation-décantation

Les doses d'ozone utilisées sont de l'ordre de 0,3 à 0,5mg d'ozone par mg de COT (carbone organique total).

Les autres préoxydations.

- o L'oxydation par le **dioxyde de chlorure (ClO₂)**.

Vis-à-vis de la couleur et du goût, l'efficacité du ClO₂ l'emporte sur celle du chlore. Cependant ce dernier permet pas d'éliminer l'azote ammoniacal, bien qu'il soit un très bon oxydant pour le fer et le manganèse.

- o L'oxydation par le **permanganate de potassium (KMnO₄)**

Dans le cas d'eau brute riche en fer et en manganèse, on utilise cet oxydant le plus efficace vis-à-vis de ces métaux. Cependant ce traitement est trois fois plus coûteux que les précédents.

I.2.2. La clarification.

a. Objectifs.

Au cours de cette étape, on extrait de l'eau brute les MES et les matières colloïdales, principales responsables de la turbidité.

b. Traitement.

La clarification fait appel à des processus de séparation liquide-solide:

- o La coagulation-flocculation ;
- o La décantation ;

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

- La filtration.

a₁. La coagulation-flocculation.

Les **particules colloïdales** caractérisées par leurs dimensions très faibles ($<1\mu\text{m}$) possèdent la propriété de se maintenir en équilibre dans l'eau sous l'effet de forces électrostatiques de répulsion. Pour les éliminer on utilise des réactifs appelés "**coagulants**" dont l'hydrolyse conduit à la formation de précipités insolubles. Les colloïdes déchargés sont alors absorbées sur les précipités et l'ensemble forme un "**floc**". L'action instantanée de ces réactifs impose la nécessité d'une agitation violente crée généralement gravitairement par chute, étranglement, obstacle.... Le pH du milieu joue un rôle prépondérant car il existe pour chaque type d'eau brute et pour chaque coagulant un pH optimal (qui peut être ajusté si nécessaire).

Les **réactifs coagulants** utilisés sont généralement des **sels de métaux trivalents** de, fer et de d'aluminium:

- le sulfate d'alumine (100 g/m³ d'eau traitée) ;
- le polychlore d'aluminium (WAC) ;
- le chlorosulfate basique d'aluminium (Aqualenc) ;
- le chlorure ferrique.

La flocculation aura pour but d'accroître le volume, le poids et la cohésion du floc. On obtient ce grossissement par la création d'une turbulence modérée favorisant la collision entre les particules de floc. Ces turbulences sont créées soit par le mouvement hydraulique de l'eau traversant des plaques perforés, des chicanes ou au moyen d'agitateur mécanique lent installés dans des bassins. Afin d'augmenter la vitesse de sédimentation du floc et une meilleure capture des colloïdes, on utilise des **floculant** tels que des macromolécules organiques naturelles (alginate de sodium) ou des polymères organiques de synthèses (polyacrylamide) (< 1% des doses de coagulant).

a₂. La décantation.

Le floc étant formé, il reste à instaurer un régime hydraulique qui lui permettra ainsi qu'à toutes les particules en suspension de se déposer dans un ouvrage d'où l'on pourra les évacuer facilement. C'est le but de la décantation.

a₃. La filtration.

Le procédé général de filtration consiste à faire passer l'eau à travers un milieu poreux qui est le plus souvent le sable. C'est une **filtration rapide**, de vitesse de filtration de l'ordre de **4,5 à 10 m/h**, appliquée à des eaux préalablement traitées (eau floclées décantées ou flottées) et aura pur but d'obtenir une clarification poussée de l'eau par l'élimination des MES. Au fur et à mesure des passages de l'eau à travers le lit filtrant, les matières retenues

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

s'accumulent dans les pores : le filtre se colmate. Ainsi afin d'atteindre une trop grosse perte de charge, il faut nettoyer le filtre.

I.2.3. La désinfection.

La désinfection a pour objectif la destruction de tous les organismes pathogènes à la sortie des usines. Elle doit être effectuée de manière à maintenir un résiduel bactériologique sur tout le réseau de distribution afin d'éviter toute dégradation de la qualité de l'eau par prolifération de micro-organisme. Son efficacité dépend de plusieurs facteurs dont:

- du pouvoir létal du désinfectant (chlore, dioxyde ou ozone)
- du temps de contact du réactif avec l'eau
- du pH, de la température, de la turbidité.

Afin d'obtenir une bonne fiabilité de ce traitement, il est nécessaire de respecter certains points:

- une parfaite filtration des MES
- la réalisation de réacteurs ou de bâches de contact à écoulement de type piston.

I.2.4. La neutralisation.

La neutralisation correspond à l'élimination de l'agressivité carbonique et a pour but de ramener le pH de l'eau à son pH d'équilibre. Plusieurs types d'action sont utilisés:

- **L'aération** effectuée en tête de traitement.

L'addition de réactif alcalin à l'entrée de l'installation lors d'un ajustement du pH de flocculation. On achève alors la neutralisation par l'ajout de soude en fin de traitement.

I.3. Les normes de potabilité.

Dans le monde entier, plusieurs normes de potabilité de l'eau ont été établies. Ces normes varient selon le pays. L'OMS impose des normes sur la potabilité de l'eau mais chaque pays peut adopter les normes qui le conviennent.

Parmi ces normes, il y a :

- ✓ Les normes internationales (OMS) ;
- ✓ Les normes françaises : AFNOR ou NF ;
- ✓ Les normes américaines ;
- ✓ Les normes européennes : ISO ;...

Prenons comme exemples les normes françaises et les normes internationales (OMS) :

I.3.1. Les normes françaises de potabilité.

Les normes françaises suivent l'**arrêté du Ministère de la santé Publique du 10 Août 1961** modifié par l'**arrêté des 26 Février 1962 et 7 Septembre 1967**.

Dans cette arrêté impose qu'une eau, pour être considérée comme potable et pouvoir être distribuée à une collectivité, doit satisfaire aux conditions suivantes :

a. Les conditions bactériologiques et microbiologiques.

1. Ne pas contenir d'organismes parasites ou pathogènes.
2. Ne pas contenir, dans le cas d'une eau non traitée, d'*Escherichia coli* (dans 100 ml d'eau) ni de streptocoques fécaux (dans 50 ml d'eau) ni de clostridium-sulfito-réducteurs (dans 20ml d'eau).

Ne pas contenir dans le cas d'une eau traitée, d'*Escherichia coli* (dans 100 ml d'eau) ni de streptocoques fécaux (dans 50 ml d'eau).

La présence, en petits nombres, de clostridium sulfito-réducteurs est tolérable dans une eau traitée et n'implique pas à elle seule la non potabilité de l'eau.

(Voir annexe page 94)

b. Les conditions physicochimiques.

3. Ne pas présenter de coloration dépassant 20 unités (échelle colorimétrique au platino-cobalt) ni de turbidité supérieure à 15 gouttes de solution alcoolique de gomme mastic à 1/1000 en période normale d'exploitation. Toutefois, dans des circonstances exceptionnelles et pour une durée limitée, il peut être toléré qu'elle atteigne 30 gouttes de mastic (dans 50 ml d'eau optiquement vide).

4. Ne pas avoir un pouvoir colmatant dû aux éléments en suspension supérieurs à 0,1 µm de diamètre et ne pas contenir d'algue ou d'autres éléments figurés.

5. Ne pas présenter d'indice chimique de pollution ni de concentration en substances toxiques ou indésirables supérieures à celles qui sont fixées dans le tableau ci-dessous.

6. La minéralisation totale ne doit pas excéder 2 g/l. en outre, l'eau ne doit présenter ni odeur, ni saveur désagréable.

Enfin, une eau doit être pauvre en matières organiques (moins de 3mg/l).

La circulaire du 1962 précise bien qu'aucune concentration limite en nitrate n'a été fixée pour les adductions collectives ; on devra tenir compte du fait que des teneurs supérieures à 10 mg/l (en N) et 44 mg/l en NO₃ sont susceptibles de provoquer des troubles notamment chez les nourrissons. De plus, il est souhaitable que la concentration de certains éléments ne dépasse pas les limites données.

Les tableaux montrant les limites en concentration sur ces recommandations sur les normes de potabilité sont représentés en annexes (voir annexe page 95).

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

I.3.2. Les normes internationales de potabilité (OMS).

a. Normes recommandées de qualité bactériologique.

Les normes bactériologiques de potabilité ont été établies en supposant la densité en bactéries pour échantillon exprimée par “le Nombre le Plus Probable” (indice MPN) d’organismes présents dans 100 ml d’eau (voir annexes page 96).

Ces normes transmettent aussi la méthode d’analyse pour les normes bactériologiques.

i. Volumes étudiés.

- Germes totaux : 1ml à 22°C et 37°C ;
- Coliformes : 200 ml à 37°C ;
- Coli E : 200 ml à 44°C ;
- Streptocoque fécaux : 200ml à 37°C
- Clostridium sulfito-réducteur 200 ml à 37°C.

ii. Expression des résultats.

- Par ml pour les germes totaux
- Par 100 ml pour les autres germes-tests.

b. Normes de qualité chimique et physique, substances toxiques.

Les normes physicochimiques de potabilité de l’OMS donnent :

- les teneurs limites de certaines substances dangereuses dans l’eau de boisson (voir annexe page 96) ;
- les aspects physiques pour une eau potable (voir annexe page 96);
- les teneurs limites en éléments radioactifs (voir annexe page 97).

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

I.3.3. Les normes malgaches de potabilité.

Madagascar a ses normes de potabilité dérivées de ces normes internationales et françaises.

Les normes malgaches sont l'application de l'**Article 6** du **décret n°633** de l'**arrêté ministériel du 30 décembre 2003**.

Madagascar a 5 groupes de laboratoire d'analyse d'eau, ces groupes sont :

- Le Ministère de l'Energie et de Mines pour des analyses physico-chimiques ;
- La JIRAMA pour la détermination des ions majeurs selon la méthode analytique physico-chimiques classique ;
- L'INSTN ou Institut National des Sciences techniques Nucléaires pour l'analyse des ions et de la radioactivité des eaux en utilisant la technique isotopique et des traces ;
- L'IPM pour les analyses bactériologiques ;
- Le CNRE ou Centre National de recherches sur l'Environnement rattaché au Ministère chargé de la recherche possède aussi un laboratoire d'analyses physico-chimiques.

a. Les normes physico-chimiques malgaches de potabilité.

Pour les normes physico-chimiques, on a des valeurs sur des taux limites des ions et de régime et la méthode d'analyse selon le Rapport Final, Manuel de procédure pour la mise en place des projets eau et assainissement, données par le tableau suivant:

Tableau 1 : Taux limites de présences des ions et de régimes et méthode d'analyse :

Elément (unité de mesure)	Limite idéale (souhaitable)	Limite absolue	Régime d'analyse	Méthode d'analyse
Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	2 000	3 400	1	Sur terrain, conductivimètre
pH	Entre 6,5 et 8,5	Entre 4,5 et 10	1	Sur terrain, pH-mètre
Turbidité (NTU)	5	20	1	Sur terrain
Fluor (mg/l)	1,5	8	2	Sur terrain, colorimètre
Arsenic ($\mu\text{g}/\text{l}$)	10	50	2	Sur terrain, avec un équipement portatif
Alcalinité (mg/l)	--	--	2	Sur terrain, colorimètre
Nitrate (mg/l NO_3)	50	100	2	Sur terrain, colorimètre
Nitrite (mg/l NO_2)	0,1	3	2	Sur terrain, colorimètre
Fer (mg/l)	0,3	5	2	Sur terrain, colorimètre
Manganèse (mg /l)	0,1	4	2	Sur terrain, colorimètre

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

La JIRAMA est l'un des 5 laboratoires d'analyse de Madagascar, plus connue sur le plan d'analyse physico-chimique dont les valeurs maximales admissibles selon les Normes Malagasy sont données sur le tableau ci-dessous.

Tableau 2 : Référence sur les normes de potabilité physico-chimiques de la JIRAMA.

Paramètres	V M A (N.M)	Paramètres	V M A (N.M)
Aspect	lipide	Dureté	TH, en °F 50
Odeur	absence		TH Ca, en °F -
Couleur	incolore	Alcalinité	TA, en °F -
Température, en °C	25		TAC, en °F -
Turbidité, en NTU	5	Chlore résiduel en mg/l -	
pH	6,5-9,0	M.O, mg O ₂ /l	Milieu alcalin 2
Conductivité à 20°C, en µs/cm	3000		Milieu acide 5

Les Cations	V M A (N.M) (mg/l)	Les Anions	V M A (N.M) (mg/l)
Potassium K+	12	Carbonate CO ₃ -	-
Ammonium NH ₄ +	0,5	Bicarbonates HCO ₃ -	-
Fer Fe++, Fe+++	0,5	Chlorures Cl -	250
Fer total Fe++, Fe+++	0,5	Sulfates SO ₄ - -	250
Manganèse Mn++	0,05	Nitrites NO ₂ -	0,1
Aluminium Al+++	0,2	Nitrates NO ₃ -	50
Calcium Ca++	-	Phosphate PO ₄ - -	5
Magnésium Mg++	-	Fluorures F -	1,5
Sodium Na+	-	Hydroxyde OH -	-

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

VMA : Valeur Maximale Admissible pour eau potable.

NM : Norme Malagasy.

°F : Degré Français.

M.O : Matières organique.

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

b. Les normes bactériologiques.

Sur le plan bactériologique, le seul laboratoire d'analyse à Madagascar est l'Institut Pasteur.

Les critères de potabilité sur le plan bactériologique sont présentés sur le tableau ci-après.

Tableau 3 : Référence sur les normes malgache de potabilité bactériologique.

Bactérie	Méthode	Critères
Microorganismes revivifiables à 22°C	NF EN ISO 6222	100/ml
Microorganismes revivifiables à 37°C	NF EN ISO 6222	20/ml
Bactérie coliformes	NF EN ISO 9308-1	0/100ml
Escherichia coliforme	NF EN ISO 9308-1	0/100ml
Entérocoque Intestinaux	NF EN ISO 7899-2	0/100ml
Anaérobio sulfito-réducteurs	NF EN 26461-2	0/100ml
Vibron	Protocole CNR Paris	0/100ml

I.4. Notion de distribution d'eau potable.

La distribution d'eau potable est l'ensemble des moyens pour amener l'eau potable vers les consommateurs. Elle assure la répartition de l'eau au sein de l'agglomération par l'intermédiaire du réseau appelé réseau de distribution.

On peut distinguer deux types de réseau de distributions :

- ❖ Le réseau ramifié.

Il est constitué de canalisations disposées de telle façon que le sens choisi de la circulation de l'eau ne pourra plus être modifié. Ce système présente l'inconvénient de priver d'eau le quartier desservi par l'antenne sur laquelle des travaux sont à effectuer.

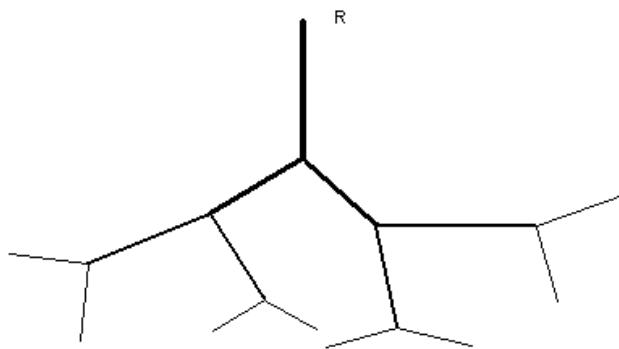


Figure 2 : Schéma d'un réseau ramifié.

- ❖ Le réseau maillé

Il est constitué de canalisations assurant un ensemble de mailles permettant de modifier le sens d'écoulement de l'eau en fonction d'incidents éventuels sur le réseau.

Un tel réseau qui donne l'impression d'un investissement supérieur au réseau ramifié conduit en une économie sensible sur le système précédent (diamètres de canalisations plus petits, sujétions de travaux sans l'arrêt de la distribution, etc...).

De plus, le réseau maillé présente l'avantage d'assurer aux usagers une distribution uniforme (pression constante).

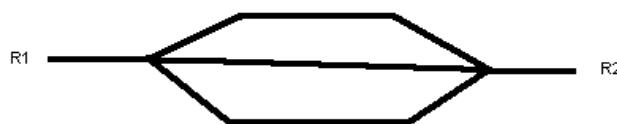


Figure 3 : Schéma d'un réseau maillé.

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

Le volume d'eau nécessaire pour l'alimentation d'une agglomération dépend notamment :

- de l'importance et du caractère de la localité à desservir ;
- des besoins municipaux, agricoles et industriels ;
- des habitudes de la population.

Alors, les conduites pour la distribution de ce volume d'eau sont dimensionnées selon le type de milieu à desservir :

Distribution pour une ville.

Pour une ville, le réseau devrait être un réseau maillé. De plus, les conduites seront dimensionnées pour une besoin de 90 à 150 L/jour/personne*.

Distribution pour un village.

En milieu villageois, le réseau sera un réseau ramifié pour amoindrir le coût et que les conduite seront dimensionnés à raison de 30 à 50 L/jour/personnes*.

Puisque notre étude consiste à redimensionner un réseau de distribution, il est important de savoir le milieu de la zone à desservir pour avoir la méthode de calcul accommodée.

*source : Formation en technicien en AEP par Jean Donné RASOLOFONIAINA.

ANDRIA-MAROTSIHOARANA Vahatra.

CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.

II.1. Situation de Manakavaly.

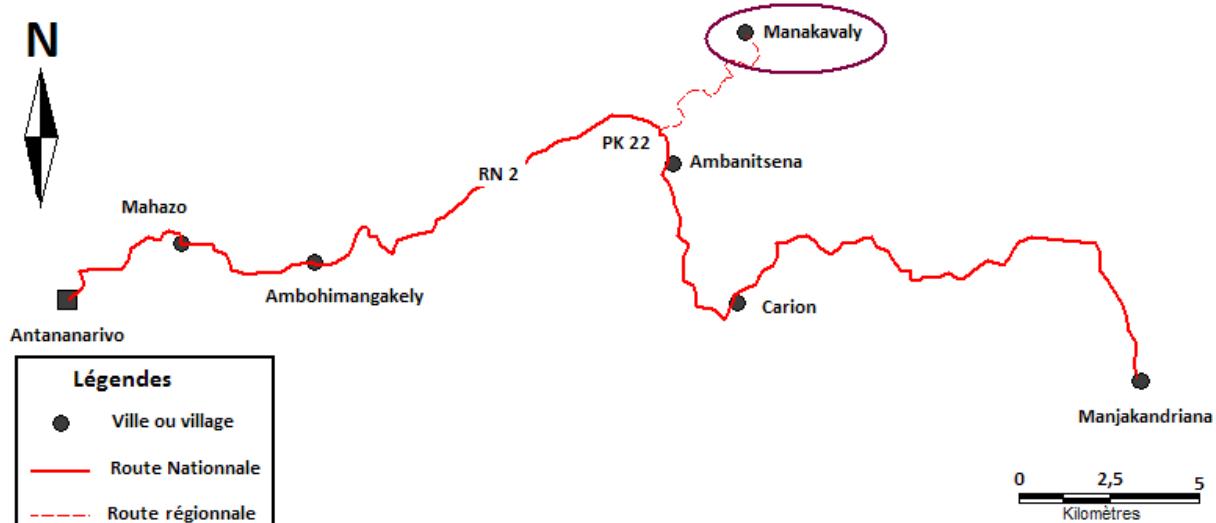


Figure 4 : Plan de situation de Manakavaly.

II.1.1. Localisation.

L'hôpital de Manakavaly, une ancienne léproserie devenue actuellement un CHD (centre hospitalier de District), sur la route nationale N : 2, PK 22 ; viré à gauche (au nord-est) et à 6km, en suivant une route secondaire, se situe entre les latitudes -18°51' et -18°50' et les longitudes 47°42' et 47°43' à une élévation moyenne de 1500m. Il se trouve dans la commune rurale d'Anjepy, district de Manjakandriana, dans la région d'Analamanga, province d'Antananarivo.

Voici une vue aérienne sur l'hôpital de Manakavaly :



Figure 5 : Une vue aérienne sur le CHD de Manakavaly.

II.1.2. Topographie.**a. Topographie générale.**

Le CHD de Manakavaly est une plate-forme entouré :

- A l'est, d'une plate forme recouvert l'eucalyptus ;
- Au sud-est d'une colline sur laquelle on a construit les deux barrages constituant la ressource de Manakavaly ;
- Au sud ; à l'ouest et au nord, des rizières.

L'altitude moyenne se situe au environ de **1500m**. La ressource se trouve à **1,7 km** de l'hôpital de Manakavaly

b. Levée topographique et levée GPS.

Des levées topographiques ont été effectuées par l'équipe technique du de la SAF/FJKM :

- o du site de captage sur le lac d'Amparahoia jusqu'au niveau du réservoir se trouvant en amont de l'hôpital,
- o tout le long du tracé de la conduite d'amenée réservoir-distribution,
- o tout le long du tracé de la conduite d'adduction principale jusqu'à l'Eglise Catholique,
- o et aux emplacements des deux ozoneurs,

En vue de pouvoir identifier l'emplacement des différents constituants du système d'adduction en eau.

Les levées par GPS ont été prises le 15 janvier 2008 :

- sur les deux barrages de retentions et la prise ;
- le long de la conduite d'amenée vers la chambre de filtration ;
- sur la chambre de filtration et le réservoir ;
- le long de la conduite d'amenée vers l'hôpital
- le long des conduites principales ;
- et sur l'emplacement des deux unités compactes de traitement.

Le tableau suivant montre les altitudes, en mètre, des points particuliers de l'AEP du CHD de Manakavaly par levée topographique et levée GPS :

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

Tableau 4 : Les cotes en mètre des points particuliers de l'AEP de Manakavaly.

Points	Côtes fictives par levées topo (m)	Côtes proches du NGM (m)
Barrage amont	-	1577
Barrage aval	-	1573
Captage	150	1573
Station de filtration	-	1546
Reservoir	118,62	1544
Entré de l'hôpital	95	1517
Unité de traitement I	93,39	1514
Unité de traitement II	-	1505
EKAR	70	1497

NGM : Niveau général de Madagascar.

Conclusion :

Ce tableau montre que l'AEP du CHD de Manakavaly est une AEPG, l'eau coule dans les conduites gravitairement sans intervention de surpresseurs ou pompe de refoulement.

II.1.3. Climatologie et végétation.

a. Climatologie de Manakavaly.

Manakavaly a le même caractère climatique que Manjakandriana, les valeurs annuelles de la pluviométrie, exprimées en mm, sont relevées dans le tableau ci-après. Ces valeurs sont prises depuis 1968 jusqu'en 1998.

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

Tableau 5 : La pluie annuelle en mm et 1/10 mm de Manakavalys depuis 1968 jusqu'au 1998.

1968	912,6
1969	1 107,6
1970	922,8
1971	1 533,6
1972	1 590,4
1973	1 345,5
1974	1 392,2
1975	1 712,8
1976	1 111,8
1977	1 217,5
1978	1 090,7
1979	1 552,4
1980	1 289,4
1981	1 636,0
1982	2 017,2
1983	1 310,1
1984	1 647,9
1985	1 278,3
1986	1 236,9
1987	1 414,2
1988	1 090,3
1989	1 089,4
1990	776,6
1991	906,7
1992	1 166,4
1993	1 309,6
1994	1 593,0
1995	1 261,5
1996	1 433,7
1997	1 272,9
1998	1 173,9
Moyenne	1 303,0

Source : Météo Ampandrianomby.

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.

b. La végétation de Manakavaly.

La végétation joue un rôle sur le comportement d'un bassin versant, c'est la végétation qui détermine la quantité des apports que ce soit en matières solide ou en débit d'écoulement sur le milieu récepteur. Ce qui nous intéresse, c'est surtout la végétation sur le bassin versant qui a un impact sur le fonctionnement du lac. Sur le bassin versant du lac d'Amparihiroa, le sol est recouvert par des savanes et quelques pieds d'eucalyptus reboisés pour faire du charbon et bois des constructions. Le bassin versant est presque dénudé et des parties du bassin versant sont attaquées par l'érosion et les ruissèlements déposent les grains de sol arrachés au fond du lac mais la surface érodée n'est pas un danger pour l'ensablement du lac parce que l'évolution de l'érosion n'arrive pas encore à un stade plus élevé.



Figure 6 : Vue aérienne de la végétation du bassin versant du lac d'Amparihiroa.

II.1.4. La population.

En général, la population de Manakavaly est composée par les employés de l'hôpital et leurs familles ainsi que des malades en soin. Les personnels de l'hôpital avec leurs familles comptent environ **135 personnes** soient 31 foyers. L'effectif des malades ne sont pas compris dans le recensement du village car leur nombre varie et qu'ils sont assistés par des proches durant leurs soins. Pour les soins, l'hôpital peut héberger 14 patients dont chacun peut avoir des gardes malades à leur surveillance et qui peuvent rester jusqu'à la bonne santé des malades.

Manakavaly est un village dont l'activité économique se base sur l'élevage et l'agriculture et pour l'éducation des enfants, Manakavaly possède une Ecole Primaire Publique (EPP) qui comprend en total **47 élèves**. Pour les études secondaires, les élèves doivent se déplacés vers le village proche qui se trouve environ à **4Km** de Manakavaly.

Comme le village de Manakavaly a été construit par des missionnaires, la population suit deux religions : il y a ceux qui sont Catholiques et ceux qui sont Protestants Calvinistes réformés (FJKM).

II.1.5. Habitat.

Les bâtiments de Manakavaly sont des anciens bâtiments construits à la fin de la période coloniale, c'est-à-dire à pendant les années 50. Le village de Manakavaly comprend :

- 7 blocs pour l'hôpital dont un pour l'entrepôt des médicaments et des matériels médicaux; un pour la dentiste ; un pour la maternité ; un pour la pédiatrie ; un pour la chirurgie ; un pour le bloc opératoire et un dernier pour la médecine générale
- 9 bâtiments pour les différents bureaux médicaux et administratifs ;
- 32 toits pour les personnels de l'hôpital ;
- 14 bâtiments pour les malades et leurs gardes ;
- 1 atelier de bois non fonctionnel ;
- 2 églises dont une Eglise Catholique et un Temple FJKM ;
- 1 Ecole Primaire Publique pour 5 classes.

1^{ère} Partie : Présentation de l'étude.**II.1.6. Les infrastructures (en 2008).**

Au moment de notre visite sur les lieux, les infrastructures sur le village sont les mêmes qu'au moment de la conception du village sauf :

- o l'Eglise Catholique construite récemment,
- o les 4 bassins publics construits par la SAFF/FJKM l'année dernière,
- o les 2 salles d'ozonation avec les citernes réservoirs qui sont aussi construites par la SAFF/FJKM l'année dernière pour la stérilisation et le traitement de l'eau du village et l'hôpital.

A part cela, les habitations des malades, au moment de la léproserie aux alentours sont tous effondrés et les installations électriques sont aussi dépassées par les temps.

2^{ème} Partie : ETUDE DE LA REHABILITATION DE L'AEP DE MANAKAVALY.

CHAPITRE III: ETUDE DE LA REHABILITATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'AEP DU CHD DE MANAKAVALY.

III.1. L'ancien réseau d'AEP de Manakavaly.

III.1.1. Présentation de l'ancienne chaîne de traitement.

L'ancien système d'AEP du CHD de Manakavaly est composé de :

- La ressource en eau : un lac de retentions ;
- Un filtre vertical avec un trop plein ;
- Et tout de suite le réseau de distribution.

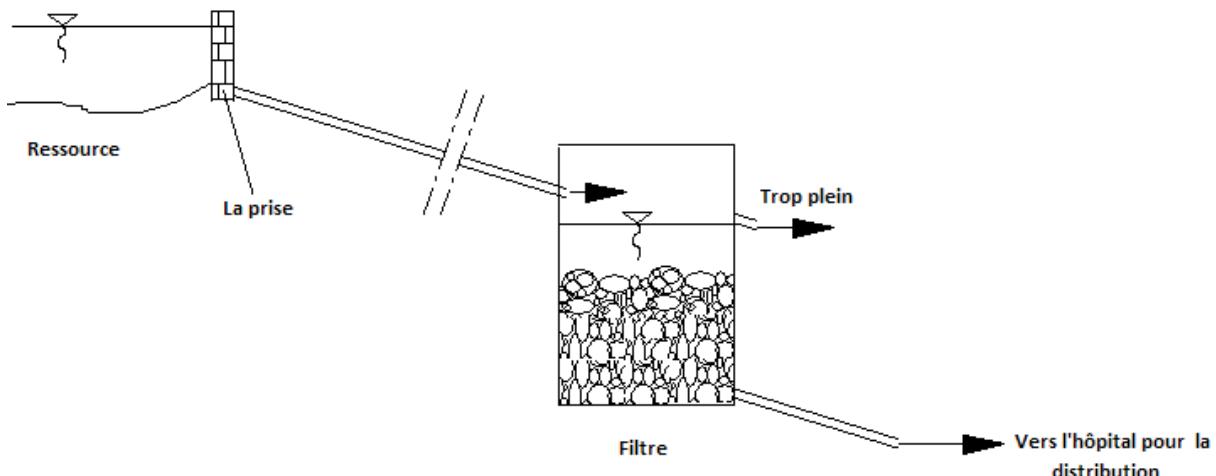


Figure 7 : Schéma de l'AEP de l'hôpital depuis 1897 jusqu'à la première réhabilitation de 1968.

II.1.2. Historique et description de l'ancien réseau.

Le réseau d'AEP de Manakavaly date de 1897, depuis la période coloniale. Il a été conçu par des missionnaires protestants pour les logements et les traitements des lépreux et leurs occupants.

L'eau n'a subi que du traitement physique : la filtration. A cette époque, l'environnement du lac n'est pas encore pollué car il est peu exploité ou exploré.

a. La ressource en eau.

C'est un lac composé de deux petits lac, d'où son nom " lac d'Amparihiroa ". Ce sont des lacs de retentions.

Le premier, celui d'en amont, est un lac tampon retenu par un barrage en terre. Il a deux rôles, d'une part, il sert à retenir les eaux pour éviter la submersion du barrage du lac réservoir en aval. D'autre part, il est comme un lac réservoir qui alimente le second en période d'étiage.

Le second lac est un lac réservoir comprenant un barrage de retentions en terre. La prise d'eau se trouve sur ce second lac.

b. La prise.

Au niveau de la prise, il n'y a pas de grille grossière mais c'est une maçonnerie de moellon, les concepteurs ont mis des interstices entre les moellons afin que l'eau puisse y entrer sans les matériaux de grosse taille. Après une sorte de bassin de dessablement, l'eau entre dans une prise pour aller dans le canal d'amenée. Le principe de filtration et la même mais les interstices sont un peu plus petit et ces trous se trouvent sur les partie latérales des prises.

c. La conduite d'amenée vers le filtre.

A l'époque de sa conception, la conduite d'amenée vers le filtre est en buse de béton ordinaire. Elles ont des dimensions 160/220. Les raccords sont en bétons. Sur les 300 premiers mètres de cette conduite d'amenée, la pente est assez faible, que l'autocurage n'est pas respecté, à la conception, ils ont mis en place des regards de visite, à déversoir latéral, tout les **10m** pour enlever les ensablements.

d. Le filtre.

A l'origine, l'eau de la ressource est filtrée dans un compartiment à flux vertical avant d'être distribuer directement sans être stocker dans un réservoir. L'eau arrive toujours à l'hôpital sans avoir passé dans un réservoir puisque le dénivelé entre le filtre et l'hôpital mesure **20m**. Ce filtre présente un trop plein.

e. Le réservoir.

L'ancien système n'a pas de réservoir mais ce filtre sert de réservoir combiné de filtre et ayant un trop plein.

Le réservoir est un réservoir enterré, de 70 m^3 de capacité juste après la chambre de filtration. Le réservoir se situe à 600m de l'hôpital sur un dénivelé de 30 m environ.

La dimension de ce réservoir est résumée dans le tableau suivant :

f. Le réseau de distribution.

Au début, l'eau n'est pas servie jusqu'aux habitats ou aux blocs de l'hôpital, mais il existait des point d'eau comme des bornes fontaines où l'on puisait l'eau. Les conduites sont en buse de dimension 100/160.

III.2. Les différentes réhabilitations l'AEP de Manakavaly.

Depuis son existence, en 1897, l'AEP de Manakavaly a été déjà réhabilitée 2 fois.

- En 1968, étude faite et réalisée par le Génie Rural à l'époque.
- Et en 2008, une autre réhabilitation se fait au niveau de la chambre de filtration ; du réservoir et construction de deux nouveaux unités de traitement (salles d'ozonation), étude faite et réalisée par le SAF/FJKM financée par le " Living Water for the Word ".

III.2.1. La première réhabilitation de 1968.

a. Présentation de la chaîne de traitement après les travaux de réhabilitation.

Le schéma représente le système d'AEP de Manakavaly après la réhabilitation de 1968.

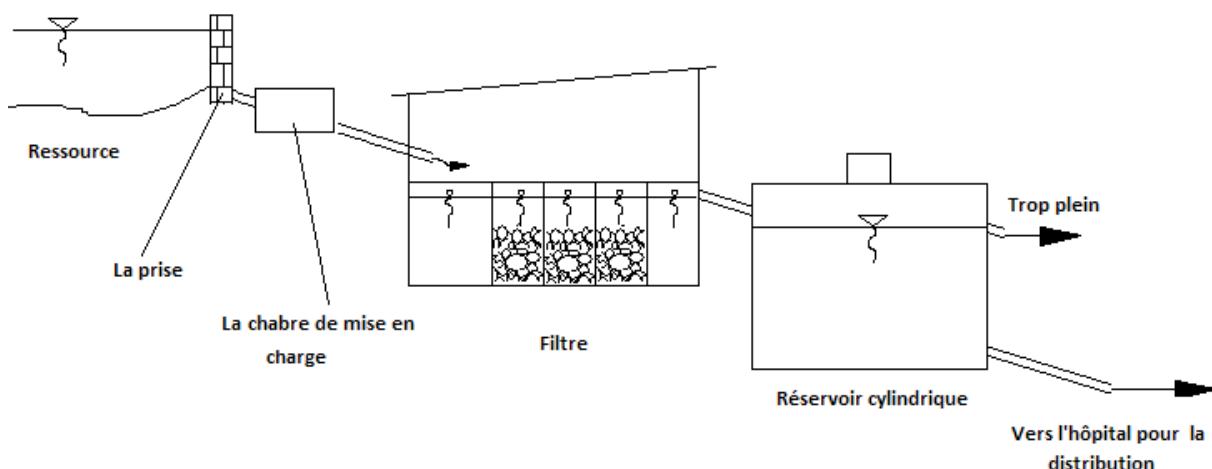


Figure 8 : Schéma de l'AEP de l'hôpital après la réhabilitation de 1968.

b. Les travaux effectués.**b₁. Au niveau de la ressource.**

En 1968, le travail effectué sur ce lac et la construction du barrage amont avec l'ouvrage annexe (vanne) qui relie les deux lacs et l'implantation des clôtures de protection contre toute pénétration dans le lac.

b₂. Au niveau de la conduite d'amenée ressource-filtre.

Durant cette période de réhabilitation, une chambre de mise en charge a été créée pour éviter toute entré d'air.

La réhabilitation de ce tronçon concerne le remplacement des conduites en buses par des conduites en PVC de diamètre 100 et ces conduites sont utilisées jusqu'à maintenant.

b₃. Dans la chambre de filtration.

En 1968, une nouvelle chambre de filtration a été construite. C'est une chambre à 5 compartiments de profondeur 2m et à écoulement horizontal :

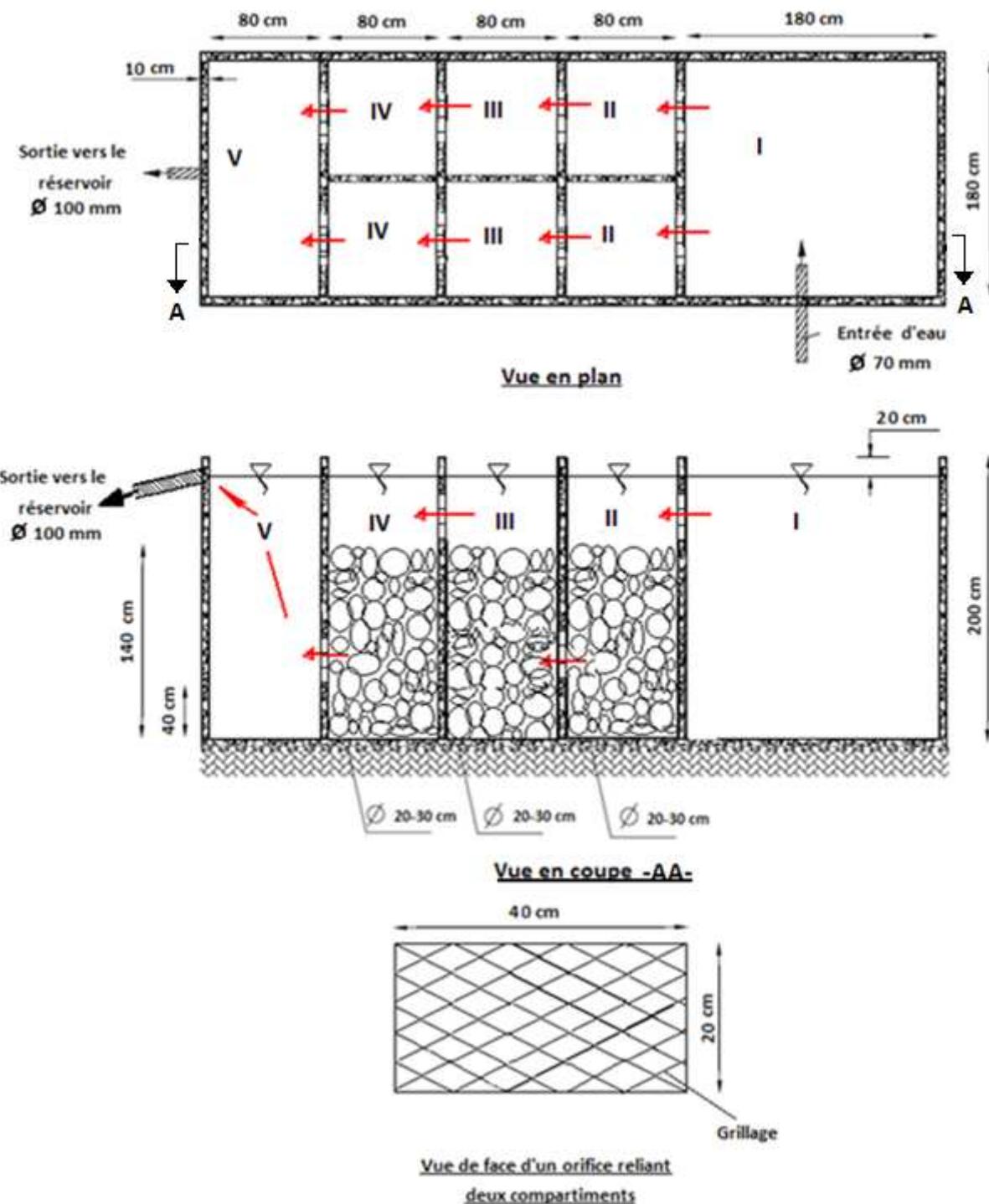


Figure 9 : Vue en plan et coupe verticale du filtre construit en 1968.

Compartiment I : pour le recueillement de l'eau venant de la ressource ;

Compartiment II ; III ; IV : compartiments à filtre dont les granulométries sont les mêmes ;

ANDRIA-MAROTSIHOARANA Vahatra.

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Compartiment V : lieu de recueillement des eaux filtrées avant d'aller dans le réservoir.

Les massifs filtrants sont des pierres un peu calcaires poreuses de dimension aux environs de 20 à 30 cm.

Les dimensions de compartiment et la granulométrie de leurs massifs filtrants sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 6 : Tableau récapitulatif des dimensions des compartiments et les granulométries des massifs filtrants du filtre construit en 1968.

compartiment	I	II	III	IV	V
dimension (cm ³)	180x180x200	180x80x200	180x80x200	180x80x200	180x80x200
granulométrie (cm)	-	20-30	20-30	20-30	-

Le débit arrivant dans le filtre, supposé aussi débit de prise, est de **1,3 l/s.**

c. Sur le réservoir.

Le réservoir a été construit durant la réhabilitation de 1968, c'est un réservoir enterré. Sa côte se trouve à 20 m au-dessus de celui de Manakavaly et ses dimensions caractéristiques sont représentées par le schéma ci-après. Par rapport au besoin de Manakavaly, ce réservoir est surdimensionné.

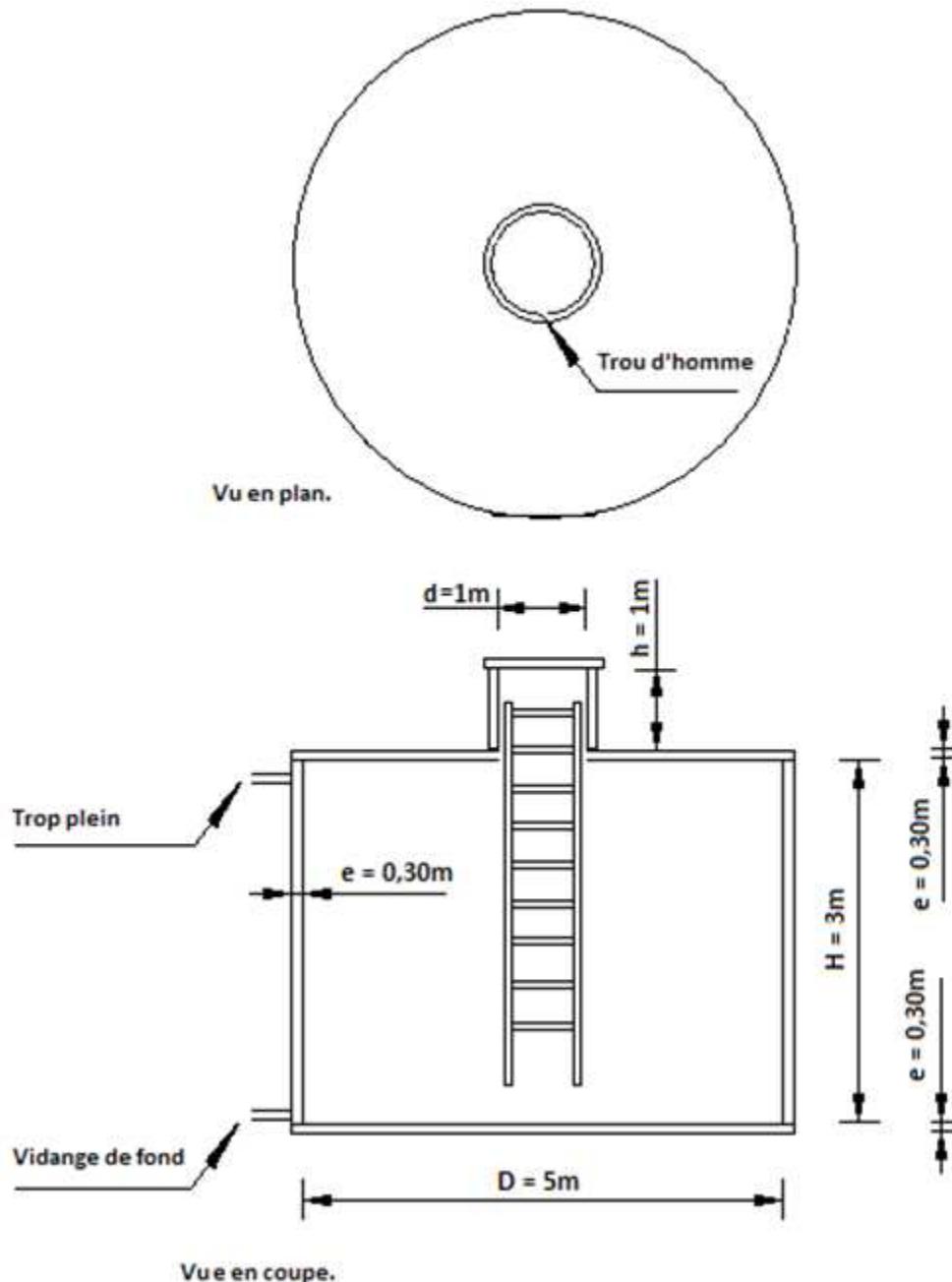


Figure 10 : Vue en plan et coupe verticale du réservoir.

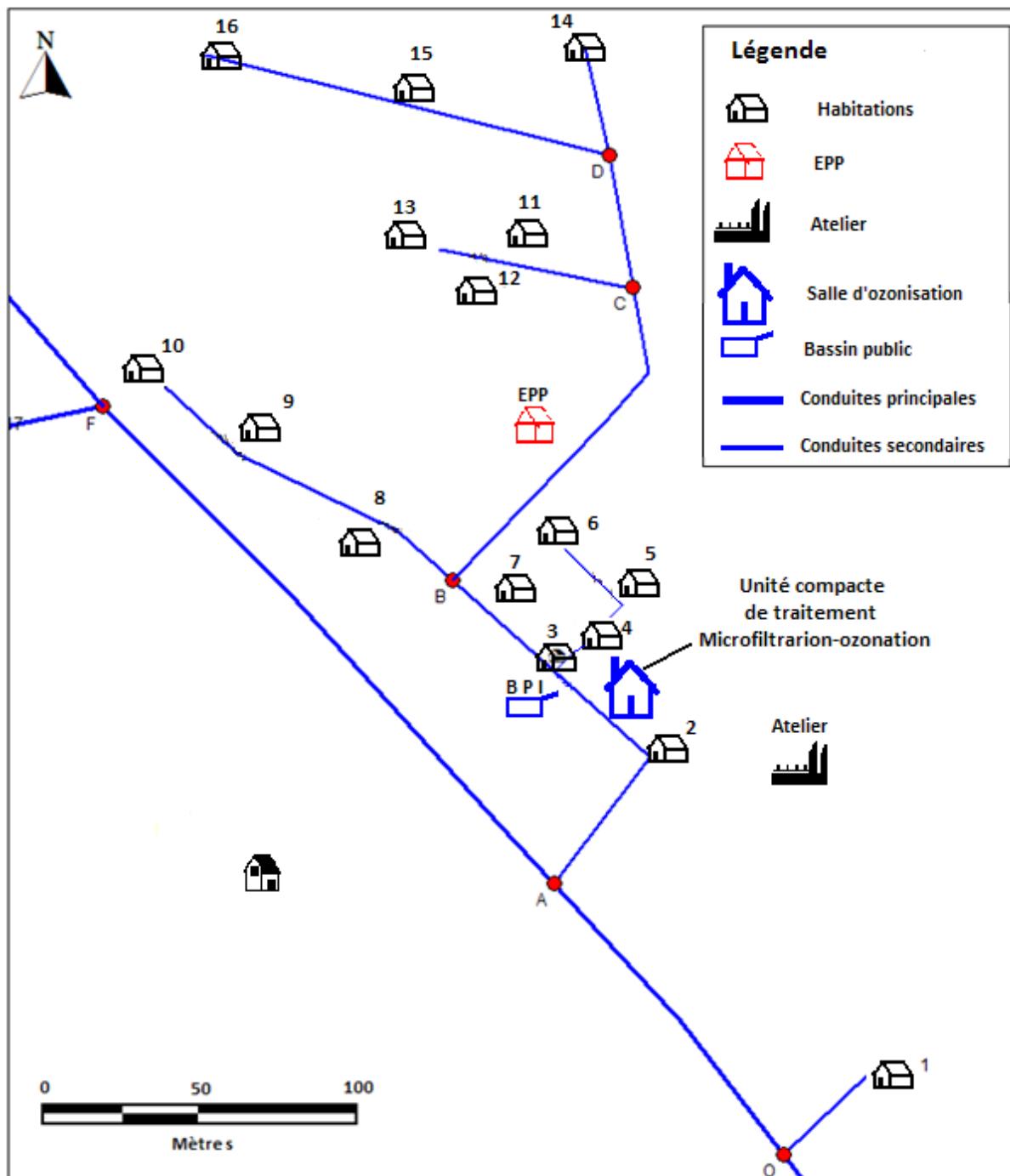
Le débit du trop plein du réservoir est de **0,3 l/s**.

d. Sur les conduites de distribution.

Du réservoir vers la vanne d'arrêt, à l'entrée de l'hôpital, ainsi que la conduite principale, la canalisation est remplacée par des tuyaux en fontes de diamètre extérieur **75 mm**.

Tableau 7 : Les caractéristiques des conduites de distribution.

	caractéristiques	Dimensions (mm)
Conduite d'amenée réservoir-distribution	Fonte	75
Conduite principale	fonte	75
Distribution	tuyau galvanisé	25-32-40

III.2.2. La réhabilitation de 2008.**Figure 11 : Plan de masse du côté sud-est de l'hôpital après la réhabilitation de 2008.**

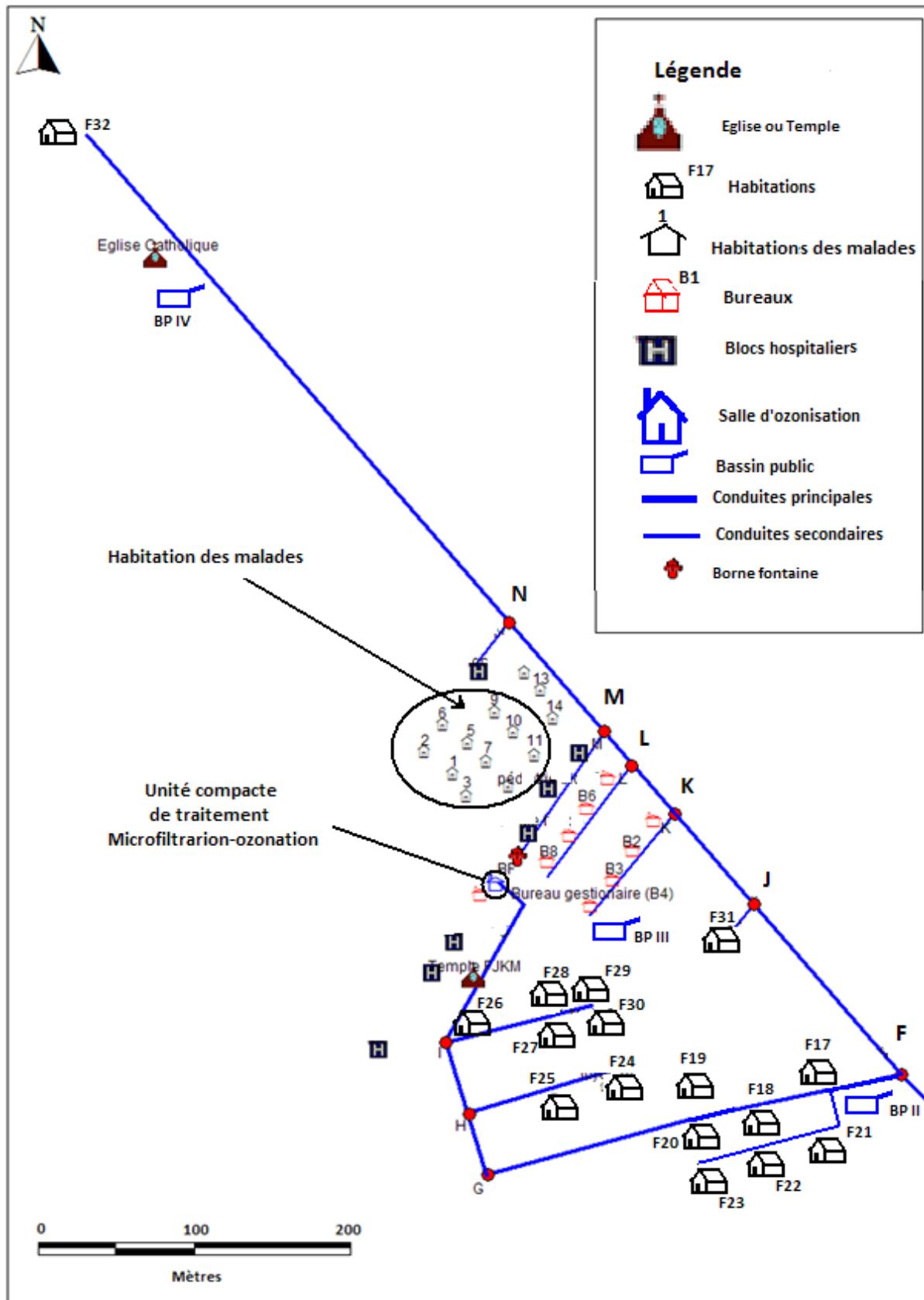


Figure 12 : Plan de masse du côté nord-ouest de l'hôpital.

a. Présentation de la chaîne de traitement.

Après les réhabilitations de 2008, la chaîne de traitement se présente comme suit :

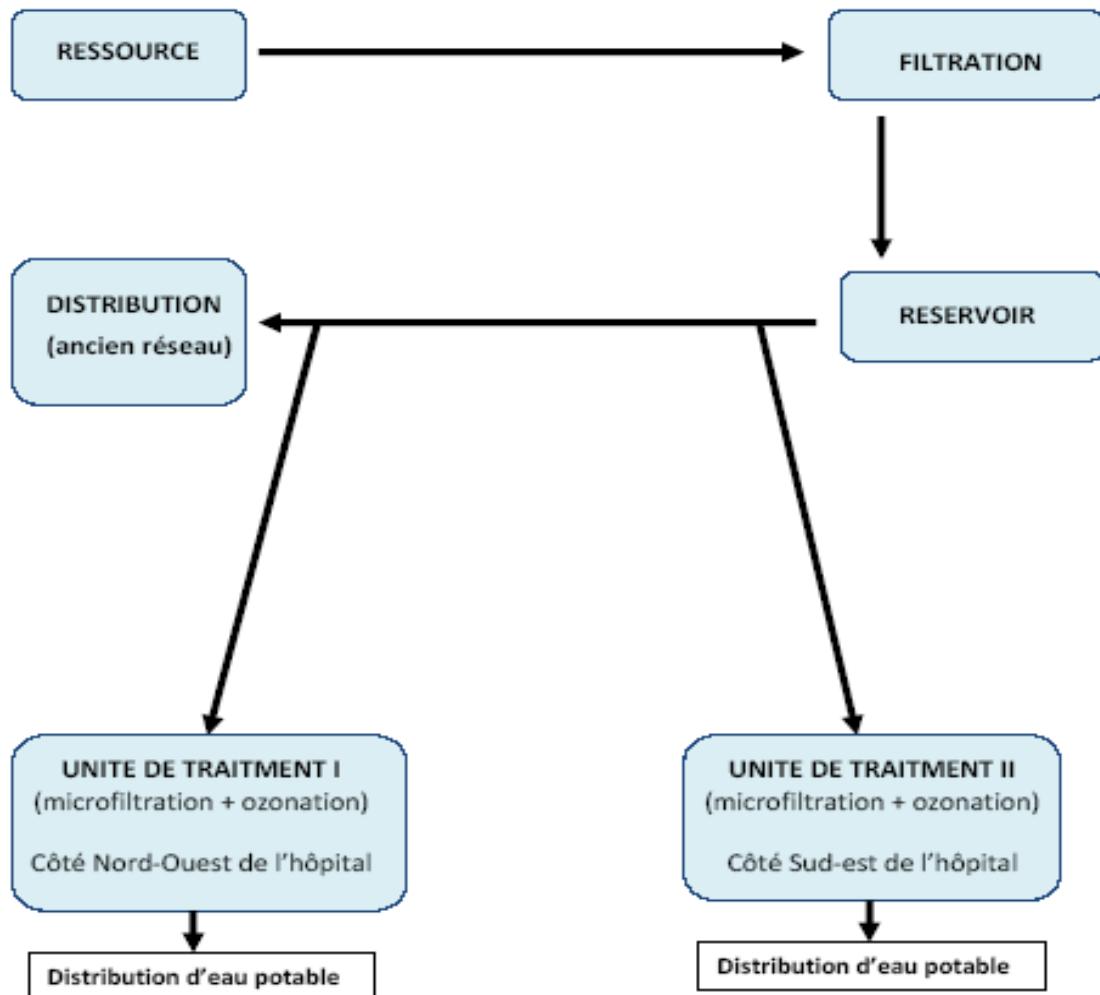


Figure 13 : Représentation de l'AEP de l'hôpital après les réhabilitations de 2008.

b. Les travaux effectués.

La réhabilitation a été financée par le “Living Water for the Word” et réalisée avec la collaboration du SAF/FJKM.

b₁. Au niveau de la ressource.

En 2008, le lac a été nettoyé et la prise d'eau a été réhabilitée.

b₂. Au niveau de la conduite d'amenée ressource-filtre.

Aucune réhabilitation n'a été faite, les conduites sont les mêmes qu'en 1968.

b₃. Dans la chambre de filtration.

Cette chambre a été réhabilitée ; les travaux faits sont les changements des massifs filtrants et le lavage des compartiments qui n'a été jamais fait depuis sa construction en 1968 vu son état durant les travaux de réhabilitation.

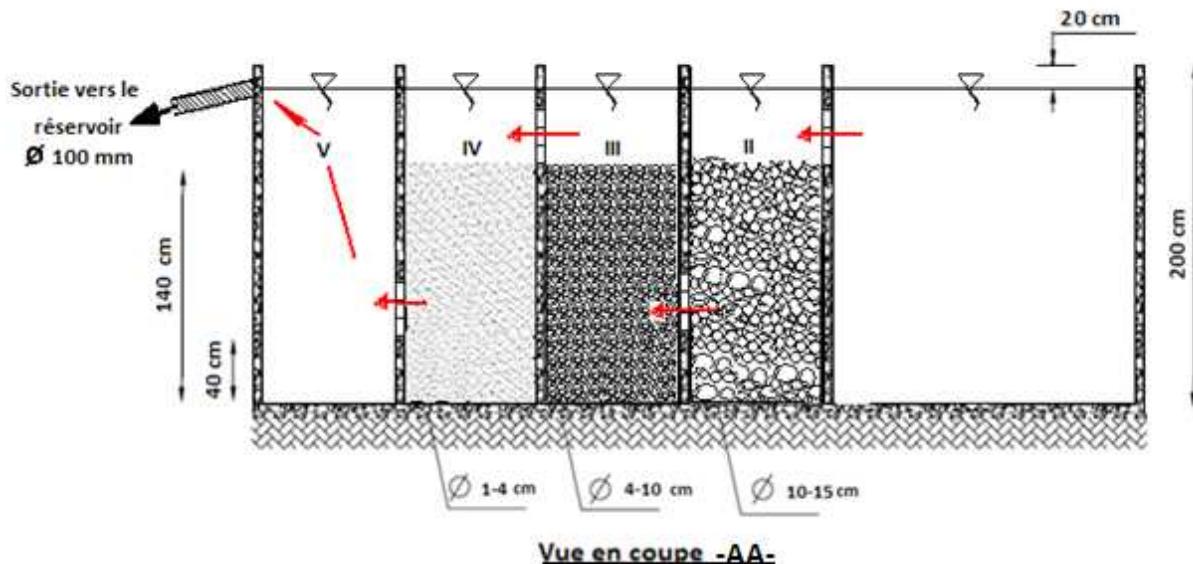


Figure 14 : Coupe transversale du filtre après la deuxième réhabilitation de 2008.

La granulométrie de ces massifs filtrants est résumée dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Tableau récapitulatif des granulométries des massifs filtrants après la réhabilitation de 2008.

compartiment	I	II	III	IV	V
dimension (cm ³)	180x180x200	180x80x200	180x80x200	180x80x200	180x80x200
granulométrie (cm)	-	1-4	4-10	10-15	-

b₄. Dans le réservoir.

Au niveau du réservoir, les travaux réalisés sont celle de l'amélioration du trou d'homme et le revêtement de l'intérieur du réservoir ainsi que son nettoyage.

b₅. Sur les conduites de distribution.

Les conduites de distribution restent les mêmes qu'en 1968 sauf qu'on a piqué le réseau pour l'implantation des deux unités de traitement, l'un du côté de l'EPP et l'autre du côté de l'hôpital.

b₆. Les unités de traitements microfiltration-ozonation.

Pour la désinfection de l'eau, l'hôpital de Manakavaly dispose deux unités de traitement dont l'une se trouve au nord-est du village (dans le côté de l'EPP) et l'autre au centre du village (dans le côté des blocs hospitaliers). Mais l'unité de traitement du côté de l'EPP n'est pas encore fonctionnelle parce qu'une vanne s'est cassée et que c'est difficile d'en trouver à Madagascar, s'il y en a, c'est trop chère.

Ces unités de traitement travaillent en trois boucles (en trois phases, c'est-à-dire, pour l'élimination des virus), c'est une recommandation du LWW.

III.3. Redimensionnement des conduites du réseau d'AEP de l'hôpital.

III.3.1. Evaluation de la demande de l'hôpital.

a. Les tendances démographiques.

Les tendances démographiques nous permettent d'apprécier l'évolution de la population du CHD de Manakavaly. L'évaluation se base sur le nombre de la population à desservir. En principe, on doit assurer non seulement les besoins actuels mais aussi les besoins futurs avec un horizon de 10 à 20 ans.

Pour déterminer le nombre de la population pour un horizon donné, on adoptera la formule de projection suivante :

$$P = P_0(1 + \alpha)^n$$

P : nombre de la population de l'année considérée ;

P₀ : nombre de la population actuelle ; pour Manakavaly, cette valeur est égale à **188** ;

α : taux d'accroissement annuel de la population ;

n : nombre d'année.

A Manakavaly, il est difficile de déterminer le taux d'accroissement annuel de la population à cause du nombre des malades entrants et sortants. Mais pour l'évaluation de la population de Manakavaly, on estime que le nombre des malades entrants est compensé par le nombre des malades sortants et ce nombre est déterminé par le nombre d'habitation pour les malades et leurs gardes, au maximum, ce nombre est égal à 56.

Donc, cette formule affecte le nombre des personnels avec leurs foyers seulement. Le taux d'accroissement **α** aura donc pour valeur **2%**.

b. Hypothèses de calcul.

b₁. Sur la dotation en eau.

En distribution rurale, les besoins peuvent être évalués forfaitairement à raison de **40Litres/jour/habitant**. Pour une évaluation plus serrée, on peut adopter les valeurs suivantes d'après les normes françaises (AFNOR)

- Alimentation humaine :	40 L/pers/jr.
- Ecole :	100 L/élève/jr.
- Bassin public :	1200 L/poste/jr.
- Hôpital :	650 L/lit/jr.

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Pour les logements des malades et de leurs surveillants, supposons qu'en moyenne, une maison est composée de **4 personnes** à une consommation journalière de 120 L/personne.

L'hôpital de Manakavaly compte :

- 224 habitants avec les malades.
- 40 lits d'hôpital ;
- 4 bassins publics avec 10 postes en total.
- Une EPP à 49 élèves.

Le besoin en eau de Manakavaly est alors **40 m³/j.**

b₂. Sur le réservoir.

On a vu que la répartition sur 24 heures, **X en (m³/h)**, la valeur du débit moyen **Q_m** de distribution tel que :

$$X = \frac{C}{24}$$

C : consommation totale sur 24 heures.

Le volume du réservoir est déterminé par la formule :

$$V = 10 C$$

Pour Manakavaly, cette consommation moyenne a une valeur de **1,67 m³/h**. Alors, le réservoir de Manakavaly doit avoir une capacité minimale de **17 m³** d'eau.

b₃. Sur le dimensionnement des conduites.

On choisit le diamètre de conduite en fonction du débit et de la vitesse moyenne. La vitesse moyenne de l'eau dans la conduite doit être comprise entre 0,50 m/s et 1,4 m/s.

On veille alors à ce que la pression en tout point du réseau ne descend pas dans la mesure du possible en dessous de 3 m (0,3 bars) si possible et ne dépasse pas 80 % de la pression admissible pour la conduite choisie.

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Ce calcul est basé sur l'application du théorème de Bernoulli. Les données de base nécessaires sont :

- les côtes des points amont et aval du tronçon,
- la longueur du tronçon,
- le débit véhiculé,
- la charge ou la pression au point considéré (à la sortie du réservoir on cautionne déjà une pression au sol minimale de 3m), ce qui est respecté à Manakavaly puisque la hauteur d'eau dans le réservoir reste constante à une valeur de 3m puisque la profondeur de ce réservoir est 3m et le trop plein débite en permanent.

Les valeurs à déterminer sont:

- les pertes de charges linéaires,
- la vitesse moyenne de l'eau,
- les pertes de charges singulières,
- la charge,
- et la pression au sol.

b₄. Sur la vitesse et la pression de service.

En se basant sur les données des normes et dans le cas d'une amélioration du taux de dessert en eau de Manakavaly, on doit respecter les règles suivantes pour les calculs du dimensionnement des conduites et pour calculs des pressions :

- la vitesse d'écoulement dans les conduites ne doit pas descendre la valeur de **0,5m/s** pour éviter les dépôts et ne doit pas dépasser **1,5m/s** pour éviter l'usure prématûre des conduites et les gaspillages d'eau;
- la pression minimale admissible est de **0,3bar** pour assurer l'arrivée de l'eau dans les foyers et la pression maximale est de **80%** de la contrainte maximale supportée par la conduite.

Dans le cas où la vitesse correspondant au débit de calcul n'atteint pas la valeur minimale nécessaire, on doit réduire la section de la conduite pour avoir une vitesse aux environs de **0,5m/s**, dans le cas contraire où la vitesse est trop élevée, on augmente la section de la conduite. Si en diminuant la section de la conduite jusqu'à la section la plus petite, la vitesse n'atteint pas le seuil minimal, on doit ramener le débit à la valeur correspondant à la vitesse minimale.

Pour notre cas, on pourra accepter une vitesse inférieure à **0,5 m/s** mais on veille à ce que cette vitesse ne descend pas au dessous de **0,25m/s** et on devra avoir un dispositif pour la décharge des dépôts.

b₅. Sur le calcul des pertes de charge

On peut distinguer deux types de perte de charge :

- **La perte de charge singulière.**

Dans le cas pratique qu'on appliquera pour le dimensionnement du réseau de Manakavaly, on peut attribuer la valeur de cette perte de charge singulière à la 10^{ème} de la perte de charge linéaire.

- **La perte de charge linéaire.**

D'une façon plus simple, on peut calculer cette perte de charge de la manière suivante :

$$j = k \frac{Q^2}{D^5}$$

j : la perte de charge linéaire en [m/m] ;

k : le coefficient de rugosité de la conduite. Pour une conduite en PEHD : **k = 1,1.10⁻³mm** (voir détail de calcul Annexe 2 page 98).

Q : le débit entrant dans la conduite, exprimé en [m³/s] ;

D : le diamètre intérieur de la conduite, exprimé en [m].

Pour avoir la perte de charge totale **J** le long d'un tronçon de longueur **L**, de diamètre intérieur constant **D** et sans coude, du réseau, on multiplie cette perte de charge linéaire **j** par la longueur **L** en [m] de la conduite :

$$J = jL$$

On aura alors :

$$J = k \frac{Q^2}{D^5} L$$

Cette formule est appliquée seulement pour une conduite de même diamètre, la valeur de **J** change pour une autre conduite de diamètre différente.

b₆. Sur le rendement.

A vrai dire, Manakavaly est une société communautaire, l'approvisionnement en eau fait partie des fonctions de l'hôpital, donc, il fait partie du budget de fonctionnement de l'hôpital. De ce fait, on juge le rendement sur l'impact du projet vis-à-vis de l'activité de l'hôpital et des paysans. Est-ce la réalisation du projet apporte des effets positifs ou négatifs sur l'activité dans l'hôpital ? C'est sûr que la réalisation de projet réduit les tâches des villageois sur la stérilisation (cuisson de l'eau avant la consommation) et le puisage de l'eau.

c. Analyse de la demande future de l'hôpital.**Le coefficient de pointe.**

Le coefficient de pointe est une valeur introduite aux débits moyens de consommation pour respecter les conditions de services du réseau. Ce coefficient est obtenu par la formule suivante :

$$k = \frac{Q_p}{Q_m}$$

Avec :

Q_p : Débit de pointe ;

Q_m : Débit moyen.

Dans notre cas, ce débit de pointe est obtenu en satisfaisant les conditions des vitesses et des pressions citées au précédemment. Et le débit moyen est la consommation journalière obtenue à partir de normes recommandées.

D'après les calculs, nous avons les valeurs suivantes :

- le débit du trop plein du réservoir est de 0,3 L/s ;
- le débit arrivant dans le filtre, ce qui est le débit entrant dans le réservoir, est de 1,5 L/s
- la consommation moyenne est de 1,2 L/s.
- le débit de pointe est de 5,13 L/s

Le coefficient de pointe est alors **4,3**.

Normalement, la valeur de ce coefficient de pointe varie de **1,3** à **2,0** ; mais pour notre cas, vu que le nombre de la population est très faible, on a adopté un réservoir surdimensionné de capacité 20 m³ et qu'on a une assez bonne quantité de ressource, on pourra accepter ces valeurs afin de maintenir les conditions de vitesses et des pressions.

III.3.2. Etude de la ressource.

Pour Manakavaly, en abondance d'eau de surface, la ressource pour alimenter l'hôpital est assurée par le lac d'Amparihiroa sans réalimentation par des puits ou des forages. Le lac d'Amparihiroa est un retenue collinaire. Le lac domine le réservoir de l'hôpital d'une hauteur de **30m**. Le lac est composé de deux parties, un lac plus grand où se trouve l'ouvrage de captage et le plus petit, celui qui joue le rôle de bassin tampon et réservoir ; bassin tampon en période de pluie car il retient les eaux pluviales à force de ne pas submerger le barrage en aval et un lac réservoir car il alimente le grand lac en période des basses eaux.

a. Apport annuel du bassin versant.

Avant d'établir l'adéquation ressource-besoin, on doit d'abord procéder à l'estimation de l'apport annuel du bassin versant ce qui nous intéresse, ce sont surtout les années sèche et médiane.

a₁. Calcul des apports par la méthode de CTGREF.

Pour estimer les apports du bassin versant du lac selon différentes périodes de retour en année sèche, on utilise la formule suivante :

$$Q = \frac{S}{31,5} \times \left(\frac{P}{B}\right)^{\frac{5}{3}} \times \left(\frac{Z_m}{100}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Q : débit moyen annuel (module) du cours d'eau en litres par seconde;

B : Paramètre régional. La valeur de ce paramètre convenant au bassin versant du lac d'Amparihiroa est de 49 (valeur pour la haute terre centrale malgache)

P_m : pluviométrie moyenne annuelle en millimètres. La pluviométrie moyenne est obtenue par les ajustements de Gumbel.

S : superficie du bassin versant en kilomètres carrés. Elle est obtenue par levée GPS des lignes de partage des eaux.

Z_m : altitude moyenne du bassin versant en mètres. L'altitude maximale observée est de 1602 tandis que l'altitude minimale du bassin versant est de 1572.

Les détails des calculs sont en annexes (page 106).

Tableau 9 : Apport annuel sur le bassin versant du lac d'Amparihiroa par la méthode de CTGREF pour les périodes de retours données.

Apport annuel sec (l/s)		Apport annuel humide (l/s)	
5 ans	10 ans	5 ans	10 ans
4,4	3,7	7,9	9,0

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Pour la réparation mensuelle des apports, on utilise les coefficients de réparation d'Aldegheri pour les hautes terres centrales malgache pour l'étude hydrologique des PPI en 1986, donnés par le tableau suivant :

Tableau 10 : Coefficients de répartition de pluie d'Aldegheri pour les hautes terres centrales.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
16,9	16,7	17,1	9,7	5,7	4,1	3,7	3,4	2,6	2,4	4,8	12,9	100

Tableau 11 : Coefficients de répartition des apports déduits des coefficients l'Aldegheri.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0,99	0,98	1,00	0,57	0,33	0,24	0,22	0,20	0,15	0,14	0,28	0,75

La répartition mensuelle selon les différentes périodes en année sèche des apports est alors :

Tableau 12 : Répartition mensuelle des apports par la méthode CTGREF en périodes quinquennale sèche et décennale sèche.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Q _{5s} (l/s)	4,35	4,30	4,40	2,50	1,47	1,05	0,95	0,87	0,67	0,62	1,24	3,32
Q _{10s} (l/s)	3,66	3,61	3,70	2,10	1,23	0,89	0,80	0,74	0,56	0,52	1,04	2,79

Tableau 13 : Répartition mensuelle des apports par la méthode CTGREF en périodes quinquennale humide et décennale humide.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Q _{5h} (l/s)	7,81	7,72	7,90	4,48	2,63	1,89	1,71	1,57	1,20	1,11	2,22	5,96
Q _{10h} (l/s)	8,89	8,79	9,00	5,11	3,00	2,16	1,95	1,79	1,37	1,26	2,53	6,79

b₂. Calcul des apports par la méthode des stations de référence.

Comme référence, il est préférable de prendre la station sur la rivière Ikopa, au pont de Mahitsy dont les coordonnées ($x=18^{\circ}51'47S$; $y=47^{\circ}27'29E$) sont les plus proches que ceux de Manakavaly, au captage, ($x=18^{\circ}51'12$; $y=47^{\circ}27'24$), dans les Fleuves et Rivières de Madagascar.

Les caractéristiques hydrologiques de cette station sont représentées sur la note ci après :

Cours d'eau : IKOPA	Coordonnées :	Latitude : $18^{\circ}51'47S$
Station : Pont de MAHITSY		longitude : $47^{\circ}27'29E$
Superficie du bassin versant :	Bilan hydrologique moyen	P = 1340 mm
(1780 km ²) naturelle	H =	590 mm
1684 km ² réelle	DE =	750 mm
période : 1947-1975	Ko =	44 %

Basses eaux	Etages (QJMin)	décennal	quinquennal	médian	K3
Influencés	Q m ³ /s q _i /l/s/km ²	7.42 4.4	8.28 4.9	9.92 5.9	1.7

Tableau 14 : Apport annuel en l/s sur du bassin versant sur le lac d'Amparihiroa par la méthode de la station de référence pour les périodes de retour données.

Apport annuel sec (l/s)		Apport annuel humide (l/s)	
5 ans	10 ans	5 ans	10 ans
1,89	1,72	35,2	43,2

Source : Fleuves et rivières de Madagascar.

La réparation mensuelle de ces apports pour une période de retour de 10 ans est donnée par le tableau suivant :

Tableau 15 : Répartition mensuelle des apports en période quinquennale sèche et décennale sèche.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Q_{5s} (l/s)	1,55	1,53	1,57	0,89	0,52	0,38	0,34	0,31	0,24	0,22	0,44	1,18
Q_{10s} (l/s)	1,39	1,38	1,41	0,80	0,47	0,34	0,31	0,28	0,21	0,20	0,40	1,06

Tableau 16 : Répartition mensuelle des apports en l/s en période quinquennale humide et décennale humide.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Q_{5h} (l/s)	34,79	34,38	35,20	19,97	11,73	8,44	7,62	7,00	5,35	4,94	9,88	26,55
Q_{10h} (l/s)	42,69	42,19	43,20	24,51	14,40	10,36	9,35	8,59	6,57	6,06	12,13	32,59

b₃. Les valeurs prises sur terrain.

Le tableau suivant montre les valeurs obtenues par prises des débits faites à Manakavaly le 4 septembre 2008.

Tableau 17 : Les débits pris sur terrain.

q_1	1,40 l/s
q_2	0,30 l/s
q_3	0,05 l/s
q_4	0,01 l/s

q_1 : Débit de captage égal débit arrivant au filtre ;

q_2 : Débit du trop plein du réservoir ;

q_3 : Débit sortant de la partie détruite du barrage ;

q_4 : Débit de fuite du barrage.

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

D'après ces résultats, L'apport du bassin versant est de 1,46 l/s. cette valeur est proche de la valeur obtenue en mois de septembre en période de retours quinquennale humide.

b. Adéquation ressource besoin.

La consommation du village est de **1,1 l/s** (q_1-q_2), cette valeur a été obtenue par des mesures sur terrain en mois de septembre.

D'après ces valeurs, l'apport du bassin versant du lac est de 1,46 l/s. est la consommation en eau de l'hôpital est de 1,1 l/s. On peut dire que cette valeur est une valeur de pointe puisque la mesure faite au trop plein a été enregistrée à 11 h du matin.

En se référant à la méthode de CTGREF, l'apport du bassin versant de période quinquennale sèche ne peut pas répondre au besoin de l'hôpital en période de basse eau, alors le tableau suivant montre les surplus en eau et des déficits en eau pour une période de retours décennale sèche.

Tableau 18 : Bilan hydrique du bassin versant du lac d'Amparihiroa en période décennale sèche.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Surplus (m ³)	6847933	6080	6964	2589	357	0	0	0	0	0	0	4530
Déficits (m ³)	0	0	0	0	0	-551	-802	-979	-1393	-1555	-159	0

Surplus (m ³ /an)	6868453
Déficits (m ³ /an)	-5439

Alors, l'apport annuel du bassin versant pour période de retour décennale sèche a un surplus de 6 863 000 m³/an.

c. Capacité du lac.

L'apport le plus faible est observé au mois d'octobre. Le lac doit stocker un grand volume d'eau pour couvrir les manques en apport du mois de juin jusqu'au mois de novembre.

Donc, le lac doit retenir **5 500 m³** d'eau du mois de décembre jusqu'au mois de mars pour couvrir les déficits en eau.

En période de crue, le petit lac en amont peut stocker **12 000m³** (soit **8 000m²** sur **1,5m** de profondeur en moyenne) d'eau et le grand lac, il peut stocker **18 000m³** (soit **9 000m²** sur **2m** de profondeur en moyenne). Mais jusqu'à la période d'étiage, le petit lac ne contient plus que **240m³** (soit **480m²** sur **0,5m** de profondeur en moyenne) et le grand lac n'a plus que **4000m³** (soit **4 000m²** sur **1m** de profondeur en moyenne).

Alors, la capacité du lac d'Amparihiroa est suffisante pour l'alimentation de l'hôpital de Manakavaly.

III.4. ETUDE DU COÛT DU PROJET DE REHABILITATION.

Economiquement, ce projet n'apporte pas d'intérêt direct ; il s'agit plutôt d'un projet à caractère social et à caractère politique. Ainsi, le calcul de TRI (Taux de Rentabilité Interne) du projet ne sera pas intégré dans cette partie. Toutefois, une étude économique basée sur calcul du coût d'entretien des ouvrages sera établie afin de tirer un prix du litre d'eau limitant le tarif à appliquer pour la gestion et l'entretien du réseau dans le futur.

III.4.1 Les prix unitaires.

Pour les prix unitaires, on devra établir un sous détail de prix des études de projet de réhabilitation des réseaux d'AEP dans le village de Manakavaly et des prix pratiqués pour ces types de travaux par des petites et moyennes entreprises locales, en considérant les conditions économiques actuelle (prix des matériels et des matériaux sur le marché, fourni par PLASCOM).

III.4.2. Les coûts des travaux.

Les coûts de travaux pris en compte sont la réhabilitation de la conduite d'aménée et celle de la distribution ainsi que le coût de réhabilitation des ouvrages annexes aux deux barrages en terre.

a. Calcul des travaux de réhabilitation des conduites.

a₁. Conduite d'aménée.

Pour minimiser les tâches et les dépense, on peut utiliser des tuyaux PEHD pour la conduite d'aménée. La conduite d'aménée est de diamètre intérieur constant qui sera égale à **76,8 mm** d'épaisseur **6,6 mm**. Les travaux de réhabilitation consistent à débroussailler et fouiller le long du tracé de la conduite d'aménée ; à remplacer les conduites anciennes et les remblayer après la pose des conduites.

La dimension des fouilles est de $0,30 \times 0,50 \text{ m}^2$ le long du tracé de la conduite et de mètre une sable d'assise de 10 cm d'épaisseur.

En cas de réhabilitation de la conduite d'aménée, le coût de la réhabilitation est détaillé par le tableau suivant :

Tableau 19 : Sous détail de prix du coût de la réhabilitation de la conduite d'amenée.

Désignation	Unité	Prix unitaire	Quantité	Coût
Tuyau PEHD Ø 76,8 /90	ML	16 727	3 630	60 719 010
Sable	m ³	10 000	110	1 100 000
Sous total				61 819 010
TVA	20%		12 363 802	
Mais d'œuvre		Homme-jour	4000	170
Total				74 862 812

On a choisi le tuyau PEHD 76,8/90 parce que :

- c'est le diamètre le plus grand des PEHD pour adduction, qui est le plus proche du diamètre des conduites actuellement utilisées ;
- de plus, les tuyaux PEHD sont plus faciles à poser à cause de leur longueur et leur souplesse.

L'investissement pour la réhabilitation des conduites d'amenée atteindra **74 862 812 Ar**

a₂. Conduite de distribution.

Toutes les habitations de Manakavaly sont des propriétés de l'hôpital, donc la réhabilitation devrait suivre les normes pour assurer l'hygiène et le bon fonctionnement des activités de l'hôpital. Par conséquent, les cités des personnels devraient être rééquipées d'eau.

Les conditions de pose des conduites sont les mêmes que celles de la conduite d'amenée

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Le tableau ci-après montre le sous détail du prix de la réhabilitation de la conduite de distribution :

Tableau 20 : Sous détail de prix du coût de la réhabilitation de la conduite de distribution.

Désignation	Unité	Prix unitaire	Quantité	Coût
Tuyau PEHD 16/20	ML	1 131	900	1 017 900
Tuyau PEHD 20,4/25	ML	1 644	100	164 400
Tuyau PEHD 26,2/32	ML	2 614	150	392 100
Tuyau PEHD 34/40	ML	3 421	500	1 710 500
Tuyau PEHD 42,6/50	ML	5 322	250	1 330 500
Tuyau PEHD 53,5/63	ML	8 364	450	3 763 800
Tuyau PEHD 64/75	ML	11 690	250	2 922 500
Tuyau PEHD 76,8/90	ML	16 727	850	14 217 950
Sable	m ³	10000	105	1 050 000
Sous total				26 569 650
TVA	20%			5 313 930
Mains d'œuvre	Homme-jour	4 000	160	640 000
Total de la réhabilitation				32 523 580

Pour la réhabilitation des conduites de distribution, on devra avoir une somme de **32 523 580 Ar.**

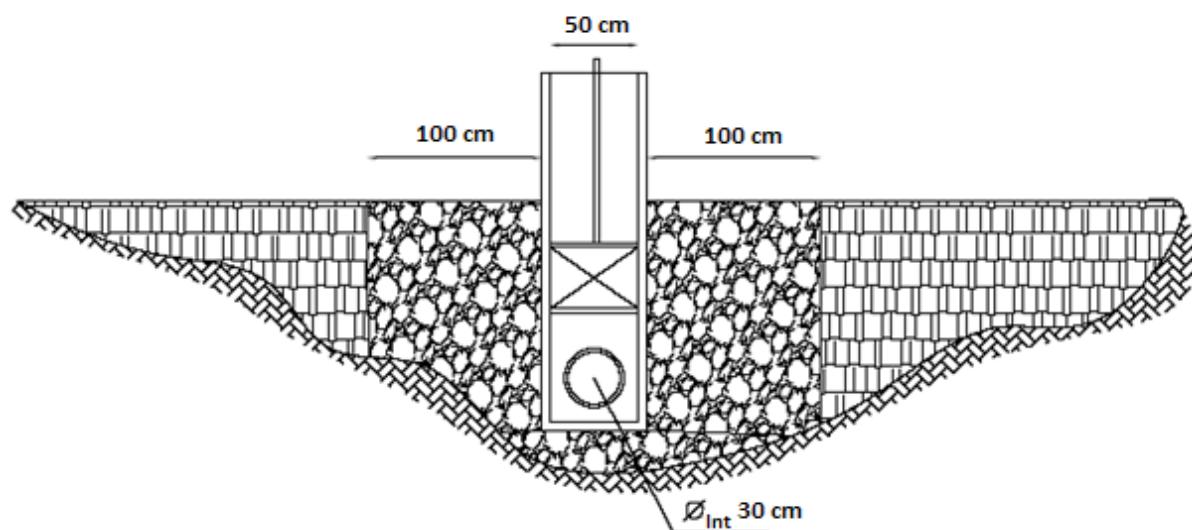
III.2.2. Les ouvrages annexes des deux barrages de retentions.

Les deux barrages de retentions ont besoin d'être réhabilités surtout les ouvrages annexes.

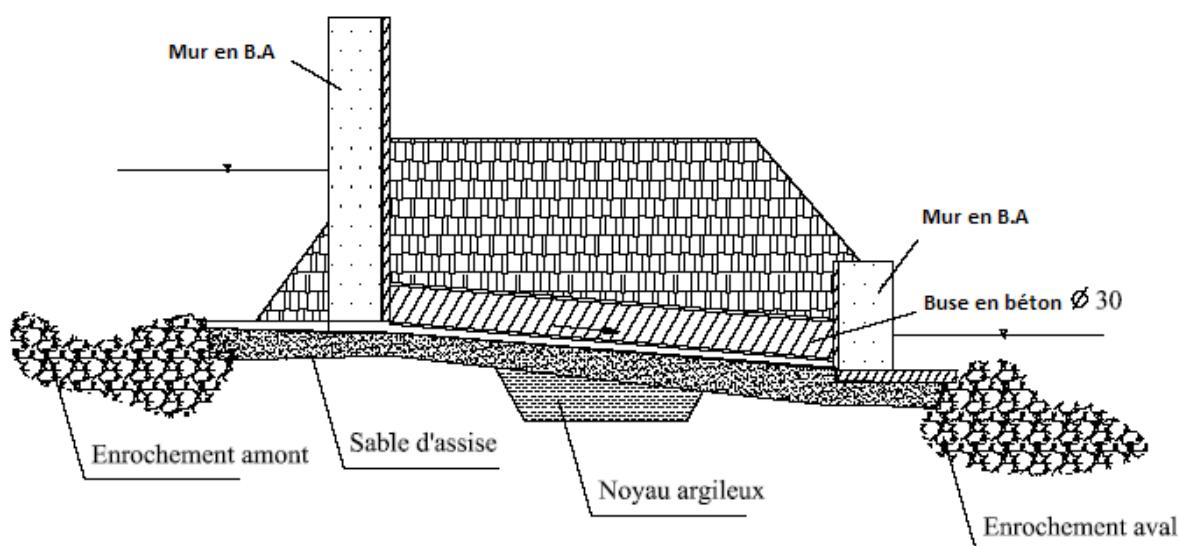
Les vannes sur place ne sont plus en état de marche et que le second barrage n'a plus de vidange de fond.

Pour les deux barrages, on avait les mêmes ouvrages annexes, des vannes avec des orifices de diamètre **0,30 m** en béton. Pour les travaux de réhabilitation, on garde les mêmes dimensions des ouvrages.

La figure suivante montre une vue de face et une vue en coupe suivant le profil des deux ouvrages annexes réhabilités et implantés sur les deux barrages.



Vue de face.



Vue de profil.

Figure 15 : Schéma de l'ouvrage annexe au niveau des barrages.

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Le coût de la réhabilitation d'une de ces deux ouvrages est détaillé dans le tableau suivant.

Tableau 21 : Sous détail de prix de la réhabilitation d'un ouvrage annexe.

Désignation	Unité	Prix unitaire (Ar)	Quantité	Montant (Ar)
<i>Maçonnerie de moellon</i>	m ³	109 666	7,81	856 769
<i>Béton Armé dosé à 350 kg/m³</i>	m ³	281 795	0,30	84 539
<i>Béton Armé dosé à 150 kg/m³</i>	m ³	185 795	0,13	23 224
<i>Coffrage en bois</i>	m ²	5 750	3,60	20 700
<i>Acier d'armature</i>	kg	3 712	18,00	66 816
<i>Buse</i>	U	16 000	6,00	96 000
TOTAL				1 148 048

La réhabilitation de l'un des ouvrages annexes des deux barrages est estimée à **1 148 048 Ar.**

Donc, pour la construction des ouvrages, on a besoin de **2 296 096 Ar**

Résumé

Pour une réhabilitation complète du réseau d'adduction d'eau potable de l'hôpital de Manakavaly, on devrait avoir un budget de **121 300 928 d'Ariary** soit **606 504 640 de Franc Malagasy.**

Les photos sur d'AEP de Manakavaly.



Photo 1: Le lac amont.



Photo 2 : Le lac aval.



Photo 3 : Le barrage de retenu, en terre, aval.



Photo 4 : La vanne reliant les deux lacs



Photo 5 : Vue ensemble de la prise d'eau (à l'état actuel).

Photo 6 : Partie non immergée de la maçonnerie avec pertuis remplaçant la grille grossière.



Photo 7 : La prise vers la conduite d'amenée vers la chambre de mise en charge.



Photo 8 : La chambre de mise en charge.



Photo 9 : Vue d'ensemble de la prise avec la chambre de mise en charge.

Photo 10 : Ancienne conduite en buse avec des raccordements.





Vue en profil.

Photo 11 : Un reste de regard de visite.



Vue d'en haut.



Photo 12 : L'ancien filtre.



Photo 13 : Un reste d'une buse pour l'amenée de l'eau vers la distribution.

Photo 14 : Un morceau de conduite principale (après 1968).



Photo 15 : La chambre de filtration.



Photo 16 : Les compartiments du filtre.

CHAPITRE IV: ETUDE DE L'UNITE DE TRAITEMENT DU CHD DE MANAKAVALY.

IV.1. Description d'une unité de traitement microfiltration-ozonation à Manakavaly.

Les systèmes utilisés pour traiter l'eau aujourd'hui dans nos stations de traitement de l'eau présentent plusieurs aspects négatifs. Par exemple, l'utilisation du chlore n'est pas optimale. Ce désinfectant puissant laisse des traces non négligeables car il reste présent dans l'eau une fois traitée sur l'eau que nous consommons...

Une eau pure met l'accent aujourd'hui sur le **traitement de l'eau à un système de microfiltration et ozonation** ou système d'ozonation. Une technique encore peu répandue par les coûts qu'elle engendre mais qui présente des avantages non négligeables sur notre environnement ainsi que sur la **qualité de l'eau** provenant du réseau public.

IV.1.1. Schéma descriptif du système d'amont en aval.

Une unité de traitement microfiltration-ozonation comprend dans sa totalité :

- Un filtre sédiment ;
- Un compteur d'eau ;
- Une pompe de refoulement ;
- Deux filtres carbones (les micro-filtres) ;
- Un producteur d'ozone ;
- Un venturi pour l'injection de l'ozone ;
- Des pipes en forme serpent pour le lieu de contact ;
- Et un réservoir.

Le schéma suivant montre les éléments composant un poste d'ozonation complet d'amont en aval :

2^{ème} Partie : Etude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.



1: Arrivée d'eau, filtre sédiment, compteur;

2: La pompe de refoulement;

3: Les filtres carbones;

4: Les pipes de contact ;

5: La prozone et la venturi d'injection;

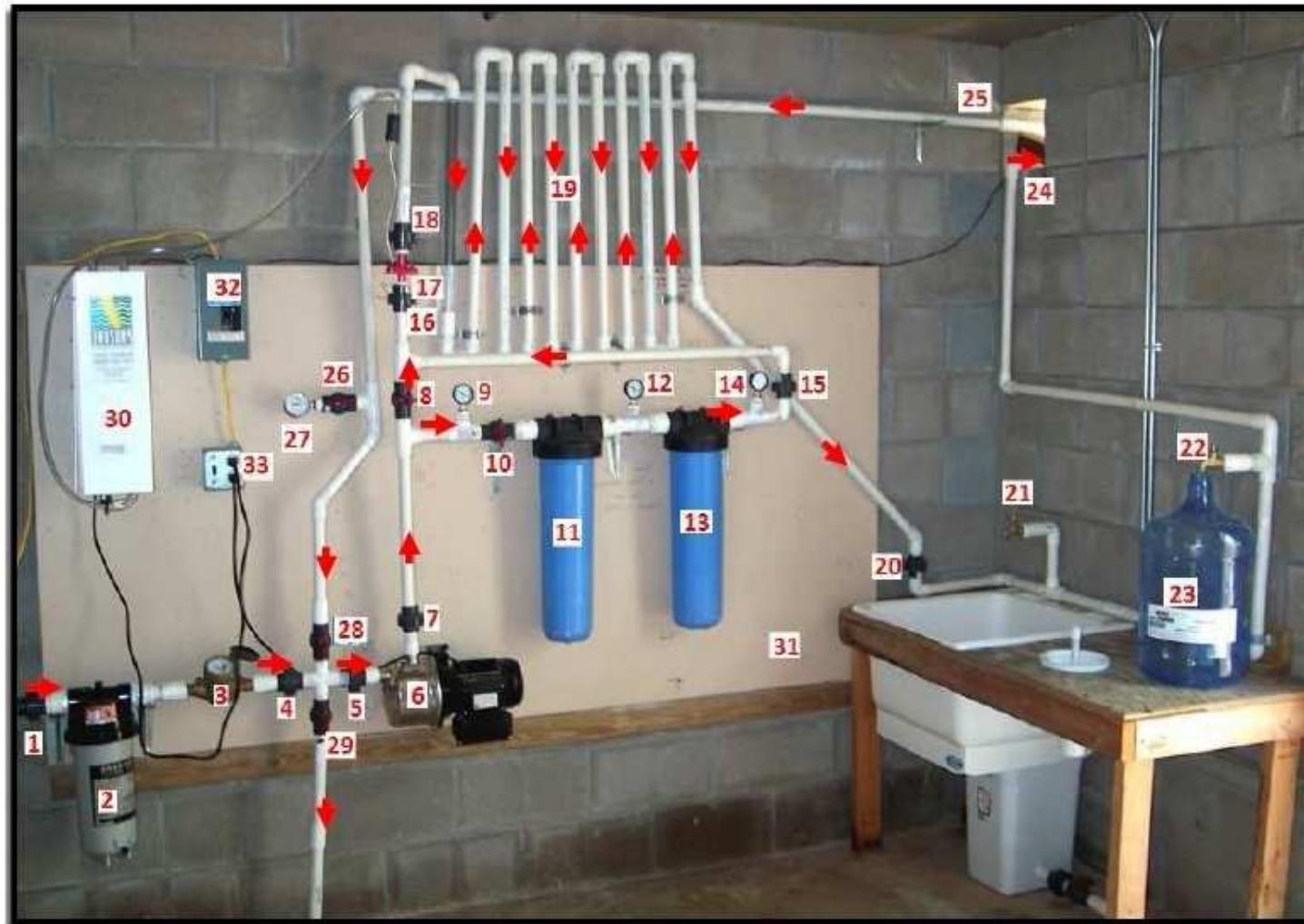
6: Le refoulement vers le réservoir;

7: Le générateur de courant.

Figure 16 : L'unité compacte de traitement de Manakavaly.

2^{ème} Partie : Etude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Un autre système compatible à celui de Manakavaly est présenté ci-après (source : info@livingwaterfortheworlds.org):



Légende :

- : sens du courant ;
- 1-4-5-7-15-16-,18-20 : Clapets anti-retour ;
- 2 : filtre sédiment ;
- 3 : compteur d'eau traitée ;
- 6 : pompe de refoulement ;
- 8-10-26-28-29 : Vannes d'arrêts ;
- 9-12-14-27 : Manomètres ;
- 11-13 : filtres carbones ;
- 17 : venturi ;
- 19 : pipes de contacte avec l'ozone ;
- 21-22: robinet ;
- 23 : récipient ;
- 24 : sortie vers le réservoir ;
- 25 : entré d'eau venant du réservoir pour recyclage ;
- 30 : producteur d'ozone ;
- 31 : contre-plaque pour le support du système ;
- 32 : disjoncteur ;
- 33 : générateur de courant

Figure 17 : Exemple type d'une unité compacte de traitement microfiltration-ozonation.

ANDRIA-MAROTSIHOARANA Vahatra.

IV.1.1. Fonctionnement du système.

Le système fonctionne suivant des phases selon le cas des microorganismes à traiter :

 **Phase I :**

C'est la phase de traitement d'une eau qui n'a jamais été ni filtrée par les micro-filtres ni en contacte avec l'ozone ;

 **Phase II, III, IV, ... :**

C'est la phase de recyclage de l'eau dans le réservoir, durant cette ou ces phase(s), l'eau ne sera plus filtrée par les micro-filtres, mais aller directement dans les pipes de contact.

Les éléments constitutifs du système ainsi que leur fonctionnement sont les suivants :

- **1** : Un clapet anti-retour, c'est l'entrée de l'eau préfiltrée pour être désinfectée par ozonisation ; en amont de ce clapet existe une vanne ;
- **2** : un filtre sédiment qui élimine les matériaux de dimension supérieure à 50µm ;
- **3** : compteur d'eau à traiter ;
- **4** : un clapet contre le retour des eaux vers le compteur en cas d'ouverture de la vanne 28 ;
- **5** : un clapet anti-retour en cas d'arrêt de la pompe et de vidange du réservoir;
- **6** : c'est la pompe de refoulement des eaux à désinfecter vers les micro-filtres avant d'aller dans les pipes de contact avec l'ozone. Les caractéristiques de cette pompe sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 22 : Caractéristiques de la pompe fournie avec le système d'ozonation.

U (V)	230
N (Hz)	50
P (kW)	0,37
I (A)	3,4
Q (m³/h)	0-3
HMT (m)	18-39
Poids (kg)	8,3

- **7** : un clapet anti-retour qui empêche le retour de l'eau dans la pompe en cas d'arrêt de cette dernière ;
- **8** : une vanne de séparation de phase, elle est fermée en phase de traitement d'eau préfiltrée pour être filtrée dans les micro-filtres et est ouverte en phase de recyclage des eaux dans le réservoir ;
- **9** : un manomètre de contrôle du premier filtre carbone. La valeur indiquées sur ce manomètre sont en **kg/cm²**, il indique la pression dans le filtre et si cette valeur augmente de **10kg/cm²** de sa valeur initiale, il faut changer ce filtre ;

- **10** : une vanne précédant les micro-filtres, qui est ouverte en phase de filtration des eaux venant de 1 et fermée en phase de recyclage ;
- **11** : c'est le premier filtre carbone, il sert à éliminer les particules ou les organismes entre **5 et 50 µm** ;
- **12** : un manomètre de contrôle du second filtre carbone. Il a le même fonctionnement que le manomètre 9 ;
- **13** : le second filtre carbone pour les micro-organismes entre **0,5 et 5 µm**
- **14** : un manomètre de contrôle.
- **15** : un clapet anti-retour des eaux dans les micro-filtres ;
- **16** : un clapet pour empêcher le retour l'eau et de l'ozone en amont du courant durant les procédures de traitement ;
- **17** : un venturi, c'est le point d'injection d'ozone ;
- **18** : un clapet contre le retour des eaux en contact avec l'ozone ;
- **19** : ce sont des pipes qui servent de lieu de contact de l'eau avec l'ozone ; au minimum, elle doit mesurer **9m (30 pieds)**;
- **20** : un clapet anti-retour des eaux dans le réservoir vers les pipes ;
- **21** : un robinet pour le test de l'efficacité du traitement ;
- **22** : un robinet à l'usage du personnel responsable du système ;
- **23** : un récipient pour distribuer l'eau potable ;
- **24** : la sortie vers le réservoir ;
- **25** : la conduite venant du réservoir pour le recyclage de eaux ;
- **26** : une vanne d'arrêt pour faire marcher le manomètre 27 ;
- **27** : un manomètre pour mesurer le volume d'eau restant dans le réservoir ;
- **28** : une vanne d'arrêt en cas de remplissage du réservoir durant la phase I ;
- **29** : une vanne d'évacuation des eaux pour vider le réservoir ;
- **30** : la prozone ou producteur d'ozone, elle produit **1g/h** ;
- **31** : une contre plaque pour le support du système ;
- **32** : le disjoncteur du système ;
- **33** : le générateur de courant.

Remarque :

L'existence des deux filtres carbones (micro-filtres) réduit le temps de contact dans les pipes parce que ces micro-filtres éliminent certain microbiologie nuisible à la potabilité de l'eau.

Sur le plan de consommation d'électricité, l'ensemble du système dissipe **1 kW/h**.

L'ensemble du système coûte **5 500 000 Ar** hors taxes et frais de transport (sans le prix du réservoir). Les pièces de rechange ne sont pas encore disponibles à Madagascar, donc il faut toujours les importer des Etats unis, le pays concepteur.

IV.2. Les étapes du traitement du système.

Pour l'unité de traitement microfiltration-ozonation, les étapes à suivre sont :

- La micro filtration ;
- L'ozonation ou oxydation par l'ozone.

Mais avant tout, l'eau recommandée par le système est une eau préfiltrée pour donner plus de longévité au filtre sédiment et aux filtres carbones.

IV.2.1. La micro filtration.

Le pas de la microfiltration est une séparation physique des micro-organismes de l'eau en faisant traverser l'eau par un filtre dont les dimensions des pores sont plus petites que la plupart des micro-organismes.

Le tableau ci-dessous donne une comparaison des dimensions de plusieurs objets pour aider à comparer la dimension des organismes qui cause des maladies :

Tableau 23 : Référence de dimensions d'objets communs.

Particule	Dimension (μm)
Sable de plage	100->1000
Pointe d'une épingle	80
Cheveux humains	30 à 150
Kyste Giardia	8 à 20
Cryptospridium	2 à 4
Bactéries	0,2 à 30
Virus	0,004 à 0,1

Le système de filtration est composé de deux filtres :

- Le filtre sédiment ;
- Et les filtres carbones.

a. Le filtre sédiment.

Les filtres entrent dans plusieurs classes selon la grosseur des pores. Le filtre de sable qu'on peut utiliser dans des grandes installations d'eau potable ; des piscines et des stations thermales, peut enlever les particules dans la gamme d'approximativement **20 μm** et plus grand. Cette filtration est souvent aidée par addition de produits chimiques qui causent **ANDRIA-MAROTSIHOARANA Vahatra**.

l'union des plus petites particules donnant des grandes particules qui peuvent être attrapées dans ces filtres.

Avec l'unité de traitement “ **microfiltration-ozonation** ”, on a inclus un filtre sédiment pour la rétention des matériaux ou des microorganismes de dimension **>50 µm**, dont il est conçu pour éliminer les microorganismes et les plus grandes particules en suspension, qui boucheraient le prochain filtre plus petit.

Ce filtre sédiment peut être pensé comme prendre la place du sable susmentionné. Cette filtration aide aussi à enlever les micro-organismes qui sont attachés à des petites particules de saleté (le sable, algue, en suspension etc....) dans l'eau où grandissent ensemble les colonies de multi-cilié.

b. Les filtres carbonés ou micro-filtres.

Les filtres microscopiques sont conçus pour enlever des micro-organismes unicellulaires, d'où le terme filtres microscopiques. Cette unité de traitement est composée de deux filtres de carbones dont la dimension des pores du premier est de **5 µm** et celui du second est de **0,5 µm**.

Les filtres microscopiques travaillent à travers une combinaison d'exclusion de la dimension physique et adsorption ou adhésion à l'intérieur du filtre microscopique.

Si on fait une vue microscopique des filtres microscopiques, il paraîtrait partout comme une éponge avec beaucoup de cavernes. Tout organisme qui traverse le filtre microscopique doit être assez petit pour aller à travers la **0,5 µm** la dimension des pores, et aussi doit enrouler son chemin à travers un chemin du tortueurs. Dans le panneau du traitement par l'ozone, le filtre microscopique devra avoir une épaisseur minimale de **38.10³ µm (1,5 pouce)** car un organisme de **0,3 µm** doit voyager l'équivalent de **127 000 fois sa longueur cellulaire** (dans une ligne droite, donc encore plus loin dans le chemin entre les pores) pour finir le filtre microscopique. L'adsorption peut résulter aussi en quelque réduction dans les virus.

La plupart des pathogènes ne se reproduisent pas sur les filtres. Les micro-organismes qui sont pathogènes comptent sur la présence de conditions très spécifiques pour causer une maladie. Ces conditions sont rencontrées à l'intérieur du corps humain qui est considérablement différent de ceux présentés sur les filtres ou sur le filtre microscopique.

Cependant, les organismes pathogènes peuvent vivre dans un état inactif et restent viables pour beaucoup de jours et ils peuvent causer d'infection si on les a ingérés ou autrement pris dans le corps où les conditions de reproduction sont rencontrées. Pour les éliminer on doit procéder à la désinfection.

IV.2.2. L'ozonation ou désinfection par l'ozone.

a. La fabrication de l'ozone par un générateur d'ozone.

L'ozone est créé grâce en général à l'air ambiant. L'oxygène capté va ensuite traverser un générateur d'ozone, où il reçoit une charge électrique.

Notions de physiques :

Ozone (O₃) : constituée de trois atomes O

Dioxygène (O₂) : constitué de deux atomes O

Après avoir reçu une charge électrique, certaines molécules de dioxygène (**O₂**) vont se séparer pour former deux atomes **O** indépendants. Par la suite, les atomes (**O**) vont se fixer aux molécules **O₂** qui n'ont pas été divisées pour former des molécules d'**ozone (O₃)**.

Le principe de l'ozone est d'oxyder les microorganismes de l'eau. C'est un désinfectant très puissant qui va agir sur les bactéries, virus et autres coliformes contenues dans l'eau. Par la suite **L'ozone (O₃)** étant un élément très instable. Une fois formé, et après avoir agi sur les bactéries, il retourne naturellement à sa forme originelle, soit l'oxygène (**O₂**).

L'ozone offre une bonne alternative que le chlore pour la désinfection. Mais l'ozone n'offre pas la protection résiduelle - l'ozone réagit loin en minutes contre le chlore qui offre un désinfectant plus agressif vers les micro-organismes même des heures après la désinfection.

IV.3. Dimensionnement du lieu de contact avec l'ozone.

Dans une unité de traitement microfiltration-ozonation, le temps de l'exposition est déterminé fondamentalement par le temps que l'eau dépense dans la boucle du contact avec l'ozone qui est la longueur de la pipe à partir du venturi jusqu'au temps où il entre dans le réservoir. Il peut y avoir aussi quelque temps d'exposition dans le réservoir, mais on n'a pas pu mesurer la concentration de l'ozone résiduelle dans le réservoir, seulement à la sortie immédiate de la pipe de contact avec l'ozone.

IV.3.1. Détermination de la concentration d'ozone.

La concentration de l'ozone est déterminée par la capacité de la production de l'ozone de la prozone **PZII-2 (1 gramme/h)** et le débit d'eau estimé à travers le venturi de contact et de la boucle. Le débit a été opéré de tel manière que, pendant l'ozonation, l'eau est pompée à travers le venturi qui est la seule limitation du courant. Sous cette condition, le débit de l'eau dans les pipes est approximativement **9 ppm**.

L'unité ppm est une unité utilisée par le LWW pour exprimer le débit de l'eau dans les pipes. Cette unité est différente de l'unité ppm en traitement classique d'eau potable.

$$\mathbf{1 \text{ ppm} = 1 \text{ gal / min}}$$

Donc, d'après le calcul ci-dessous:

$$\mathbf{C_t = C \times t}$$

C : concentration de l'ozone:

$$\mathbf{C = 1 g/h / 9 gal/min}$$

$$\mathbf{C = (1000 mg/h) / (9 gal/min \times 3,7854 L/gal \times 60 min/h) = 0,49 mg/L}$$

1 gallon=3,7854 L

$$\mathbf{C = 0,49 mg/L}$$

C'est la concentration d'ozone MAXIMALE possible, en assumant 100% de transfert de gaz de l'ozone du ruisseau de l'air dans le ruisseau de l'eau. Le taux réel de transfert est entre **50** et **75%**, ou **0,24 à 0,37 mg/L**. Le seul chemin pour augmenter la concentration de l'ozone **C**, est la réduction de la valeur du débit en limitant le débit de la pompe, ou en ajoutant de plus la capacité de la génération de l'ozone.

Dans une autre séquence, le venturi d'injection d'ozone augmente la pression dans les tuyaux et le débit dans les pipes est réduit à **4,5 ppm** qui aiderait l'augmentation de la concentration de l'ozone.

La longueur de la boucle de contact de l'ozone et de la tuyauterie jusqu'au réservoir détermine le temps d'exposition. C'est possible qu'il y ait quelques restes résiduels dans le

réservoir, surtout si le contenu du réservoir est remis en circulation à travers le contacteur de l'ozone à temps multiples. La boucle de contact est approximativement **9,15m (30 pieds)** et les pipes ont un diamètre **2,51cm (1 pouce)**. La vitesse de l'eau (à 9 ppm) à travers la boucle de contact devra être calculée pour déterminer le temps d'exposition dans les groupes de pipes.

Donc;

$$S = \pi x r^2 = 3,14 \times (0,5)^2 = 0,79 \text{ Pouce carré} \times 0,000645 \text{ m}^2 / \text{Pouce carré} = 0,00051 \text{ m}^2.$$

Le **débit** est:

$$Q = 9 \text{ gal/min} \times 3,785 \text{ L/gal} \times 1 \text{ m}^3/1000 \text{ L} = 0,034 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$Q = 0,034 \text{ m}^3/\text{mn} = 0,61/\text{s}$$

La vitesse dans la boucle est donc:

$$V = 0,034 \text{ m}^3/\text{min} / 0,00051 \text{ m}^2 = 66,6 \text{ m/min}$$

Et le temps de contact dans une boucle de **30 pieds** est donc;

$$\text{Temps} = 30 \times 9,15 \text{ m} \times 1 / (66,6 \text{ m/min}) = 0,14 \text{ min.}$$

$$t = 0,14 \text{ mn} = 8,4 \text{ s}$$

Maintenant, combiner la concentration et le temps:

$C_t = 0,24 \text{ mg/L} \times 0,14 \text{ min} = 0,034 \text{ mg-min/L}$ à **50%** de transfert, ou si le transfert de l'ozone est 75%, alors :

$$C_t = 0,37 \text{ mg/L} \times 0,14 \text{ min} = 0,051 \text{ mg-min/L.}$$

Donc, le C_t pour le débit (et aussi pour planches antérieures depuis le générateur de l'ozone et les courants n'ont pas changé) est entre **0,034** et **0,051 mg-min/L**.

IV.3.2. Détermination du nombre de boucles ou passages.

Le tableau ci-dessous donne la valeur du C_t à exiger pour tuer 99,9 à 99,99% d'un organisme donné. Le C_t évalué variera selon l'état de la cellule; une cellule qui adhère à une plus grande particule, ou un groupe de cellules a tenu ensemble par une couche du vase exigera un plus haut C_t qu'une nouvelle cellule croissante a suspendu dans l'eau.

Tableau 24 : La dose d'ozone par le temps de contact exigée pour le traitement de quelque exemple de microorganismes.

Organisme	C _t	Temps de contact (s)	Nombres de passage
Coli. E	0,010	1,2	0,1 (=1)
Streptocoques fécales	0,015	1,8	0,2 (=1)
Clostridium sulfito-réducteur	0,010	1,2	0,1 (=1)
Coliforme Totaux	0,020	2,4	0,3 (=1)
Virus	0,100	12	1,5 (=2)

Le tableau suivant montre les valeurs de la concentration d'ozone, du temps de contact et de C_t selon les recommandations de l'OMS :

Tableau 25 : Les concentrations d'ozone, temps de contact et C_t pour quelque microorganisme selon les recommandations de l'OMS pour l'utilisation de l'ozone comme désinfectant.

Organisme	Concentration d'ozone mg/l	Temps de contact	C _t (mg-min/L)	Nombres de passage
Coli E.	0,05	50s	0,04	1
Streptocoques Fécales	0,5	1,8s	0,015	1
Virus	0,04	4min	0,16	3

Source : Conseil de l'Organisation Mondial de la Santé sur la désinfection par l'ozone. Traitement des eaux et Contrôle Pathogène.

Pour la recommandation de l'OMS sur l'utilisation de l'ozone, la concentration de l'ozone est déterminée à l'échelle de l'élimination d'une bactérie cible et le débit du traitement est fonction de du temps de contact nécessaire.

Pour le système à Manakavaly, la concentration de l'ozone est fixée mais le nombre de boucles est déterminé par le C_t du microorganisme cible, à Manakavaly, le nombre de boucles est de 3, donc conçu pour l'élimination des virus.

La quatrième colonne du tableau 24 est le nombre de boucle de passage à travers l'ozone, exposé à **0,37 mg/L** d'ozone, qu'il prend pour désactiver 99,9 à 99,99% du micro-organisme donné. Il faut noter que l'organisme de l'indicateur, coli E., est une de l'espèce de la bactérie plus sensible, et ces bactéries sont en général plus sensibles que sont les protozoaires. C'est intéressant à noter que le coli E. est une des bactéries plus sensibles, mais il est utilisé généralement comme l'organisme indicateur pour la désinfection. Donc, c'est possible

d'obtenir un coliforme E. très compté bas, et encore ayant le présent des micro-organismes pathogène viable.

Donc, puisque l'ozone est un désinfectant beaucoup plus puissant que le chlore, la dose fournie est inadéquate d'accomplir la désinfection considérable sur une pipe à ozone.

L'efficacité sur plusieurs espèces de chacun du processus du traitement, filtration, microfiltration et ozone, est résumée dans le graphique ci-dessous.

L'opération courante demande des passages multiples de l'eau à travers les pipes de contact avec l'ozone pour augmenter le C_t en augmentant le temps de l'exposition. Le C_t pour plusieurs espèces de bactéries, protozoaires, vers et virus a été classifié de plus bas à plus haut C_t , et a complété comme C_t contre un pourcentage cumulatif. Pour les 9 ppm emballés, 1 passage désactive approximativement 10% de l'espèce disposée, à 2 passages, approximativement 20% de l'espèce seraient désactivées et ainsi de suite. Approximativement 23% de l'espèce sont désactivées après 4 passages, au sujet de notre maximum.

Réduire débit de l'eau dans les pipes à 4,5 ppm augmente le C_t du système d'ozone. Un traitement à 1 passage à 4,5 ppm désactive approximativement 21 % de l'espèce, 2 passages désactivent approximativement 28 % de l'espèce et ainsi de suite jusqu'à approximativement 31% de l'espèce avec 4 passages. Les espèces représentées par ces fractions constituent les plus petites cellules de la bactérie seules et virus qui sont très sensibles et ont la plus grande chance de traverser le filtre microscopique. Cependant, la plupart de ces cellules de la bactérie seules sont plus grandes que 0,5 μm en dimension à part les virus.

En résumé, bien que nous n'ayons pas mesuré la concentration de l'ozone, nous pouvons calculer la concentration maximale possible, et cela est prouvé pour **0,44 mg/L** (à un écoulement de 9 ppm).

Cette dose sera inefficace dans un traitement à un passage pour beaucoup de micro-organismes. Le fait que nous exécutons un traitement à trois passages est utile, mais nous sommes aussi très dépendants du filtre microscopique pour enlever la majorité d'organismes malfaisants.

Il est recommandé habituellement que l'ozone soit appliqué après filtration depuis que la filtration enlève les particules qui protègent les micro-organismes. C'est habituellement le cas parce que la molécule de l'ozone est un désinfectant beaucoup plus efficace que les radicaux libres qu'il forme sur décomposition. Cependant, l'ozone peut réagir avec les solides suspendus et les colloïdes et les cause de coaguler afin que la filtration soit plus efficace.

Quand on utilise de l'ozone pour la désinfection, les temps du contact sont habituellement dans les 10 à 30 minutes dans les gammes toutes petites. C'est pour l'eau de rebut, qui peut être plus "sale" que l'eau potable typique, dont les temps de contact pourraient être inférieurs. Cependant, le temps de contact devrait être entre les **3 et 10 minutes** après utilisation des micro-filtres.

L'ozone peut réagir aussi avec carbone organique dissous dans l'eau pour produire ce qui est connu sous le nom de composés organiques assimilables (COA). Le COA peut être utilisé par les bactéries pour reproduire. D'où, il est recommandé dans systèmes qui utilisent l'ozone, que l'ozonation soit suivi par quelques moyens d'enlever les COA, ou soutient un désinfectant résiduel. Dans le cas du traitement par l'ozone, la recirculation de l'ozone accomplit l'enlèvement des COA. Il devrait être noté qu'aux basses concentrations de l'ozone nous ajoutons, la production COA peut être aussi minime. En outre, les micro-filtres sont faits de carbone activé qui peut adsorber beaucoup des précurseurs COA.

CHAPITRE V: ETUDE DE L'EFFICACITE DU TRAITEMENT.

V.1. Notion de microbiologie.

On entend sous le nom de microbes tout un monde d'êtres vivants extrêmement petits, dont les dimensions, très inférieures au millimètre, s'expriment en microns ; aussi le microscope est-il nécessaire pour observer leur corps. Leur étude constitue la **Microbiologie**. Les microbes existent dans tous les milieux : air ; eau ; sol ; matière organique en décomposition et dans les microorganismes eux-mêmes.

Bien qu'il existe des bon-microbes utiles et indispensables, ce terme de microbes suggère encore pour beaucoup la seule idée des microbes pathogènes, agent de maladies infectieuses de l'homme et des animaux ; ce sont bien ces derniers d'ailleurs qui intéressent l'Hygiène.

On connaît un nombre extrêmement grand d'espèces microbiennes, classées dans les groupes très divers, à ce point qu'elles sont, les unes **animales**, les autres **végétales**.

Exemple : Les protozoaires, animaux unicellulaires du type de l'amibe, constituent à eux seuls tout un monde microbien.

V.1.1. Les virus.

a. Leurs propriétés.

a₁. Ce sont des microbes.

Si ténus que les microscopes optiques les plus puissants ne permettent pas, sauf exception rares, de les apercevoir : ce sont des **infra-microbes**. Ils traversent les filtres à celui des pores du filtre : **ce sont des virus filtrants**.

a₂. Ils sont pathogènes.

Bien que soupçonnés depuis longtemps puisque leur existence nous a d'abord été révélée que leur action sur les être vivants – animaux et végétaux- qu'il parasite. Les virus sont en effet la cause de maladies contagieuses chez l'homme ; chez les animaux ; chez les végétaux.

a₃. Les virus sont des parasites intracellulaires.

Au cours des infections qu'il provoque, les virus présentent des affinités particulières pour des tissus bien spécialisés qu'ils atteignent de manière caractéristique.

b. leur constitution.

b₁. Taille.

Avant de les voir, on a pu tout d'abord, grâce à d'ingénieuses et difficiles méthodes indirectes de physique, leur assigner une taille, qu'on apprécie en millionième ou millième de micron c'est-à-dire, en nanomètre **nm**.

Les plus gros de ces infra-microbes, les plus proches par leur taille des bactéries, atteignent **0,2 µm (200 nm)**. Le plus petit est de l'ordre de **10⁻² µm (10 nm)**.

b₂. Formes.

L'emploi du microscope électronique a permis de préciser leur forme.

Les virus ont des formes arrondies ou en filament ou corpuscules.

b₃. Nature chimique.

L'analyse des virus, recueillis en masse, a pu être faite. Ils se montrent constitués, uniquement ou à peu près, de protéines complexes, comparables à celle des noyaux cellulaire, dites nucléoprotéine. On n'y rencontre pas de diastase et cela explique pourquoi contrairement aux bactéries, les virus ne respirent ni ne fermentent et pourquoi pour subvenir à leur entretien ils sont obligatoirement des parasites intracellulaire. On distingue d'après leur nature chimique :

- **Les virus supérieurs** : gros virus, où les nucléoprotéines sont accompagnées d'un peu de matières grasses et des sucres. Ils ne s'attaquent qu'aux animaux et aux bactéries, car les bactéries elles-mêmes ont leurs parasites : ce sont des virus dénommés **bactériophages**.
- **Les virus inférieurs** : petits virus constitués par nucléoprotéines pures, voire même une seule.

V.1.2. Les bactéries.

Les bactéries constituent le groupe le plus important parmi les microbes. De plus, beaucoup d'entre elles exercent des actions pathogènes que l'hygiène doit combattre ; elles sont les principaux agents des maladies infectieuses.

a. constitution des bactéries.

La technique bactériologique a permis de connaître la forme et la constitution des bactéries ; elle autorise aussi dans une large mesure leur discrimination, donc leur identification.

a₁. Forme et classification des bactéries.

La taille des bactéries varie de quelque dixième de micron à **4 ou 5 microns** et leurs formes, toujours très simples, permet de les grouper autour de quatre types principaux.



Ce sont les coques, petit grain sphérique ayant à peine **1 µm** de diamètre.

- s'ils sont isolés les uns des autres, ce sont des **microcoques** ;
- s'ils s'accroissent 2 à 2, ce sont des **diplocoques** ;
- accolés par 4, en carré, ce sont les **tétracoques** ou **tétragènes** ;

- associés en chapelets, formant des chaînettes plus ou moins ondulées, ce sont des **streptocoques**. Très répandus, ils sont responsables de nombreuses suppurations et infections ;
- groupés en grappe de raisin, ce sont des **staphylocoques** ;
- assemblés par 8 ou 32 et disposés en cube, ce sont des **sarcines**, fréquentes dans l'estomac.

 Forme bâtonnet.

Ce sont des **bacilles**, bâtonnets plus ou moins courts, à extrémités arrondies ou carrées.

Forme courbe.

Les bactéries incurvées en simple virgules sont les **vibrions** ou **bacilles virgules**. Exemple : le vibron cholérique.

 Forme filamentuse.

L'**actinomycète** avec ses filaments rayonnants renflés en massues, cette affinité le situe parmi les **mycobactéries**. Il peut se développer dans le poumon.

Les **spirochètes** sont étirés, flexueux, spiralés, mobiles et ressemblent à bien des égards aux protozoaires. Ils sont très forts du point de vue pathogène.

a₂. Structure bactérienne.

Le corps d'une bactérie est formé d'une masse de cytoplasme enveloppé d'une membrane.

Dans le cytoplasme, baignent des inclusions diverses : gouttelettes de graisse, de glycogène, d'amidon.

Il n'y a pas peu de temps encore, on refusait aux bactéries une véritable structure cellulaire, pensant que le noyau ne s'y trouvait que sous forme diffuse à l'état de granulations. Depuis peu, on a pu déceler chez un grand nombre d'entre elles la présence d'un noyau bien individualisé et qui ne diffère de celui des cellules typiques que par l'absence de membrane nucléaire.

Certaines espèces bactériennes sont entourées, outre la membrane, d'une capsule, sorte de gaine muqueuse qui, pour les bactéries pathogènes, jouera, nous le verrons, un rôle essentiel.

a₃. Identification des espèces.

Pour déterminer les espèces bactériennes, on se base sur les **critères morphologiques** de forme et des structures constituent un premier critère mais ils ne suffisent pas :

- Parce qu'ils sont peu variés et que des espèces différentes sont morphologiquement très semblables
- Parce que la forme d'une bactérie n'est pas toujours immuable ; elle peut changer suivant la nature du milieu nutritif et la température.

b. Biologie bactérienne.

L'étude des bactéries dans leur milieu naturel a permis de connaître leur façon de vivre, et de juger de l'influence des agents extérieurs sur leur activité.

b₁. Nutrition des bactéries.

Les bactéries pathogènes sont des parasites, la plupart peuvent vivre en saprophytes puisqu'elles peuvent se cultiver sur divers milieux nutritifs.

b₂. Respiration et fermentation.

Les bactéries libèrent l'énergie qu'elles tirent de leurs aliments de deux manières selon qu'elles sont aérobies ou non. Ce qui nous intéresse c'est surtout les bactéries anaérobies et les anaérobies facultatives.

les bactéries anaérobies.

D'autre bactérie décomposent de façon incomplète leur aliment en l'absence d'oxygène : elles produisent le phénomène de **fermentation**.

Ces bactéries, qui ne peuvent supporter le contact de l'air et pour l'oxygène est un poison, sont **anaérobies**, par exemple : le Bacille tétanique.

Anaérobiose facultative.

De nombreuses bactéries peuvent vivre indifféremment en présence ou en l'absence d'oxygène : ce sont des anaérobies facultatifs, le bacille typhique et le colibacille par exemple.

b₃. Sécrétion de toxines.

De nombreuses bactéries pathogènes秘rètent, outre les diastases et les déchets habituels de la nutrition, des poisons très actifs qu'on appelle **toxine**. Une toxine est caractéristique de l'espèce bactérienne.

Parmi les toxines bactériennes, on distingue :

- ❖ **des exotoxines**, engendrées par les bactéries vivantes et rejetées, aussitôt formées, dans le milieu ambiant.
- ❖ **des endotoxines**, comme les toxines typhique et cholérique ; elles ne sont libérées qu'après la mort des bactéries quand leurs cadavres se dissolvent. Elles sont moins toxiques que les exotoxines et sont de nature glucidique ou glucidolipidique.

b₄. La reproduction des bactéries.

Les deux formes de la reproduction bactériennes sont la multiplication et la sporulation.

Multiplication.

C'est une simple division du corps bactérien par cloisonnement ou par étranglement. Les bactéries ne se reproduisent que sous des conditions favorables : température entre 20 et 40° ; abondance de substances nutritives.

Sporulation.

Quand les conditions deviennent défavorables, les bactéries sporulent. Les spores sont des formes de résistance, pouvant rester très longtemps à l'état de vie ralenti ; mais dès que les conditions redeviennent favorables, elles germent et engendrent chacune une bactérie qui ne tarde pas à se multiplier à nouveau par division.

Les spores sont donc à la fois des éléments de conservation et des éléments de dissémination.

La sporulation n'est cependant pas générale chez les bactéries. Ainsi le bacille de Koch et le bacille de la fièvre typhoïde ne produisent des spores.

Remarque

Les microbes sont très sensibles à la lumière solaire, qui agit par ses rayons ultra-violets, éminemment microbicide. Cette action bactéricide assure dans une certaine mesure la purification spontanée de l'air et des eaux courantes.

V.1.3. Dimension de quelques microorganismes avec leurs formes actives et leurs traitements.

Le tableau suivant montre les dimensions de quelques microorganismes avec leurs éliminations avec l'unité compacte de traitement :

Tableau 26 : Dimension de quelques microorganismes avec leurs formes actives et leurs traitements.

Protozoaires

Les micro-organismes	Taille (μm) ; D=diamètre; L=longueur	Forme résistant écologiquement.	Traitement par l'ozone; F=filtration; O=ozonation
<i>Cryptosporidium</i>			
Oocystes	D=3-6 (Sphérique)	Oocystes	F
Sporozoaire et Clostridiums	D=1-3 ; L=6-8		F

<i>Entérocoque histolyse</i>			
Kystes	D=10-15 (Sphérique)	Kystes	F
Trophozoaires	D=10-20 (Sphérique)		F

<i>Lamblia Giardia</i>			
Kystes	D=6-8 ; L=8-14	Kystes	F
Trophozoaires	D=6-8 ; L=12-16		F
<i>Helminthes (vers)</i>			
Ankylostome (œuf de vers à cilié)	D=36-40 ; L=55-70	Larve Filiforme	F
Ascaris (ascaride œuf)	D=35-50 L=45-70	Œuf Embryonnaire	F
Œufs de vers flagellé	D=20-24 ; L=50-50	Œuf Embryonnaire	F

Tableau 27 : Dimension de quelques microorganismes avec leurs formes actives et leurs traitements (suite).

<u>Virus</u>			
Sclérose en plaques	0,022-0,026	Virion	O
Entérovirus	0,020-0,030	Virion	O
Norwalk	0,020-0,035	Virion	O
Polio	0,025-0,030	Virion	O
Rota virus	0,070-0,080	Virion	O

Bactéries

Les micro-organismes	Taille (μm) ; D=diamètre; L=longueur	Forme résistant écologiquement.	Traitements par l'ozone; F=filtration; O=ozonation
Bacilles	D=0,3-1,5 ; L=1-10	Endospores ou cellules inactives.	Inactive=F; Vivant=F+O
Bacille coliforme	D=0,6-1,2 ; L=2-3L	Endospores ou cellules inactives.	Inactive=F; Vivant=F+O
Coccidé	D=0,5-4 (Sphérique)	Endospores ou cellules inactives.	Inactive=F; Vivant=F+O
Spirilles	D=0,6-2 ; L=20-50	Endospores ou cellules inactives.	Inactive=F; Vivant=F+O
Vibron	D=0,4-2 ; L=1-10	Endospores ou cellules inactives.	Inactive=F; Vivant=F+O

A Madagascar, les germes à rechercher leurs présences sont les suivants :

- Le bacille coli ou l'Escherichia Coli ;
- L'entérocoque ;
- Les clostridiums sulfito réducteur ou anaérobiose sulfito réducteurs ;
- Les bactériophages fécaux.

L'E coli est le meilleur indice des contaminations fécales récentes. En fait, ce n'est pas le E. coli qui est dangereux, car il n'est pas pathogène par lui-même ; mais sa présence dans une eau peut faire soupçonner la présence d'autres germes plus difficiles à déceler (bacille dysentérique,...) et qui, normalement, cohabite avec lui dans l'intestin des êtres humains et suivent les mêmes voies que le E coli. Le fait de trouver de E coli dans une eau peut donc faire penser à l'existence éventuelle d'autres germes plus dangereux.

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Le groupe des coliformes peut être parfois d'origine fécale. Pour cela, il faut que ces coliformes existent avec d'autres témoins de souillures fécales : coli, entérocoques, clostridium perfringens. Une eau qui les contient seuls peut être réputée non dangereuse.

L'entérocoque confirme la souillure fécale.

Le clostridium perfringens est un germe sporulé très résistant. Il est le témoin d'une contamination ancienne ou intermittente.

V.2. Efficacité de l'unité compacte de traitement.

V.2.1. Sur le plan physico-chimique.

a. Les prélèvements.

Pour des analyses physico-chimiques auprès de la JIRAMA, on a fait des prélèvements le 27 Août 2008.

On a fait les prélèvements sur trois points particuliers de la chaîne de l'AEP de Manakavaly :

- Prélèvement sur le lac d'Amparihiroa pour l'analyse de l'eau brute ;
- Prélèvement sur le trop plein du réservoir pour une analyse de l'eau filtrée ;
- Prélèvement sur le point de distribution d'eau potable après l'unité compacte pour une analyse de l'eau traitée.

b. Les résultats d'analyse.

Les résultats d'analyse physicochimique de la chaîne de traitement de Manakavaly sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 28 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux à Manakavaly.

Paramètres	V M A (N.M)	Eau brute	Eau filtrée	Eau traitée
Aspect	lipide	Lipide	Lipide	Lipide
Odeur	absence	Absence	Absence	Absence
Couleur	incolore	-		-
Température, en °C	25	14,3	14,3	14,3
Turbidité, en NTU	5	1,07	0,82	0,68
pH	6,5-9,0	6,04	6,08	6,62
Conductivité à 20°C, en µs/cm	3000	9,1	11,6	19
Minéralisation, en mg/l	-	10	13	21
MES en mg/l	-	0,6	0,4	0,3

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Tableau 29 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux à Manakavaly(suite).

Paramètres		V M A (N.M) (mg/l)	Eau brute	Eau filtrée	Eau traitée
Dureté	TH, en °F	50	0,90	1,10	1,40
	TH Ca, en °F	-	0,50	0,80	1,3
Alcalinité	TA, en °F	-	0,00	0,00	0,00
	TAC, en °F	-	0,60	0,70	1,00
Chlore résiduel en mg/l		-	-	-	-
M.O, mg d'O ₂ /l	Milieu alcalin	2	1,30	0,90	1,10
	Milieu acide	5	-	-	-

Les cations		V M A (N.M) (mg/l)	Eau brute	Eau filtrée	Eau traitée
Potassium	K ⁺	12	-	-	-
Ammonium	NH ₄ ⁺	0,5	0,02	0,02	0,01
Fer	Fe ⁺⁺	0,5	-	-	-
Fer total	Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	0,5	0,00	0,02	0,00
Manganèse	Mn ⁺⁺	0,05	-	-	-
Aluminium	Al ⁺⁺⁺	0,2	-	-	-
Calcium	Ca ⁺⁺	-	2,00	3,20	5,20
Magnésium	Mg ⁺⁺	-	0,97	0,73	0,24
Sodium	Na ⁺	-	1,15	1,72	2,30

Les anions		V.M.A (N.M) (mg/l)	Eau brute	Eau filtrée	Eau traitée
Carbonate	CO ₃ ⁻⁻	-	0,00	0,00	0,00
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	-	7,32	8,54	12,20
Chlorures	Cl ⁻	250	1,77	2,66	3,55
Sulfates	SO ₄ ⁻⁻	250	0,00	0,00	0,00
Nitrites	NO ₂ ⁻	0,1	0,02	0,03	0,02
Nitrates	NO ₃ ⁻	50	0,00	0,00	0,00
Phosphate	PO ₄ ⁻⁻⁻	5	-	-	-
Fluorures	F ⁻	1,5	-	-	-
Hydroxyde	OH ⁻	-	0,00	0,00	0,00

Substances toxiques		V M A (N.M) (mg/l)	Eau brute	Eau filtrée	Eau traitée
Arsenics totaux	As	0,05	-	-	-
Cyanures totaux	Cn	0,005	-	-	-
Chromes totaux	Cr	0,05	-	-	-

VMA : Valeur Maximale Admissible pour eau potable.

NM : Norme Malagasy.

°F : Degré Français.

M.O : Matières organique (Oxydabilité au KMnO₄).

c. Interprétation des résultats.

Pour l'eau de la ressource, d'après les résultats d'analyse du prélèvement faite auprès de la ressource, l'eau du lac est potable physico-chimiquement. Mais cette prélèvement a été faite durant la période d'étiage, donc on ne peut pas prendre comme référence ces résultats.

Pour l'eau filtrée, comme l'eau venant du lac est potable, on ne peut pas vraiment mesurer l'efficacité du filtre mais vue les résultats d'analyse ci-dessus, quand même, le filtre fonctionne bien, il réduit le taux des MES dans l'eau.

Pour l'unité compacte, l'efficacité de l'unité de traitement microfiltration-ozonisation se mesure sur l'élimination des substances toxiques, des anions et des cations dans l'eau ; le pouvoir minéralisateur et le pouvoir neutralisateur du système. De ces points de vue, cette unité de traitement est efficace.

Remarques

On ne doit pas contenter de ces résultats d'analyse parc qu'ils peuvent changer en période pluviale.

Pour mesurer la vraie capacité de la chaîne de traitement se trouvant à Manakavaly, on devrait faire une contre analyse durant les périodes de crue.

V.2.2. Sur le plan bactériologique.

a. Présentation des échantillons.

Pour l'AEP de Manakavaly, on a quatre résultats d'analyses. Ces analyses sont faites avant et après la réhabilitation de 2008 et se présente comme suit :

- **E.F.09.06** : Eau filtrée, prélevée par un technicien de la SAF/FJKM le 19 septembre 2006, avant l'étude de la réhabilitation de 2008. Le prélèvement a été pris sur un robinet dans l'enceinte de l'hôpital.
- **E.F.08.08** : Eau filtrée, prélevée le 26 août 2008 après le filtre (après la réhabilitation de 2008).
- **E.T.08.08**: Eau traitée, prélevée le 26 août 2008 sur le robinet de distribution d'eau potable de l'hôpital.
- **E.T.09.08**: Eau traitée, prélevée le 10 septembre 2008 sur le robinet de distribution d'eau potable de l'hôpital pour une contre-analyse de l'eau.

b. Les résultats d'analyse.

Les résultats des analyses faites par l'IPM pour ces échantillons sont donnés sur le tableau suivant :

Tableau 30 : Résultats des analyses bactériologiques des eaux à Manakavaly.

Bactérie	Méthode	critères	E.F.09.06	E.F.08.08	E.T.08.08	E.T.09.08
Microorganismes revivifiables à 22°C	NF EN ISO 6222	100/ml	--	$1,3 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^1$	$2,8 \cdot 10^2$
Microorganismes revivifiables à 37°C	NF EN ISO 6222	20/ml	$1,1 \cdot 10^4$	#2	$1,1 \cdot 10^1$	$2,7 \cdot 10^2$
Bactérie coliformes	NF EN ISO 9308-1	0/100ml	<1	<1	<1	$1,9 \cdot 10^2$
Escherichia coliforme	NF EN ISO 9308-1	0/100ml	$1,5 \cdot 10^2$	<1	<1	$1,9 \cdot 10^2$
Entérocoque Intestinaux	NF EN ISO 7899-2	0/100ml	$2,8 \cdot 10^2$	$1,1 \cdot 10^1$	<1	#8
Anaérobies sulfito-réducteurs	NF EN 26461-2	0/100ml	--	$5,3 \cdot 10^1$	5,2.10¹	<1
Vibron	Protocole CNR Paris	0/100ml	A	A	A	A

A : Absence.

: Nombre estimé.

c. Interprétation des résultats.

Ces microorganismes revivifiables sont des coliformes totaux des matières fécales et les anaérobies sulfito-réducteurs sont des germes sporulés très résistants, leur dimension est de **0,22 µm**, ils passent donc à travers les micro-filtres. Ils sont le témoin d'une contamination ancienne ou intermittente.

En se basant sur les résultats d'analyse en **E.F.08.08** et **E.T.08.08**, une anomalie se présente au niveau du poste de désinfection. Normalement, les anaérobies sulfito-réducteurs doivent être éliminés par les filtres carbones. C'est cette anomalie qui a poussé à faire une contre analyse donnant l'eau **E.T.09.08** mais d'après les résultats d'analyse, l'eau n'est pas encore potable.

Donc, le temps de contact n'est pas suffisant pour assurer la potabilité de l'eau, à une concentration d'ozone de **0,4mg/l**, on devrait avoir un temps de contact entre **8 et 12 min**.

Or pour le système à Manakavaly, le temps de contact entre l'injection jusqu'au réservoir dure 8,4 sec, alors on joue sur le nombre de boucles pour obtenir le temps de contact nécessaire. Pour Manakavaly, on traite l'eau à 3 boucles, le temps de contact est alors de 25s.

2^{ème} Partie : Étude de la réhabilitation de l'AEP de Manakavaly.

Si on respect la dose d'ozone et le temps de contact nécessaire pour avoir une eau potable, on aura les résultats suivants :

Tableau 31 : Temps utiles pour un traitement efficace.

	T = 8 min	T = 12 min
V = 300 L	8 heures	12 heures
V = 1000 L	26 heures	40 heures

Cette durée de traitement est trop longue, alors pour réduire ces temps, soit on prolonge le lieu de contact avant d'entré dans le réservoir soit on augmente la production d'ozone. La capacité de production de la prozone ne peut excéder 1g/h alors, la seule solution est d'augmenter la longueur des pipes de contact.

CHAPITRE VI: COUT DE L'EAU TRAITEE PAR L'UNITE COMPACTE ET COMPARAISON AVEC LE PRIX DE LA JIRAMA.

Pour l'évaluation du coût de l'eau, on doit considérer deux cas :

- 1er cas : on ne considère que du coût de fonctionnement et du coût de maintenance du système;
- 2nd cas : on doit acheter le poste d'ozonation et construire une salle d'ozonation.

VI.1. Etude du 1^{er} cas.

Dans le cas où l'on ne considère pas les prix des matériels, on doit tenir compte :

- Du coût de fonctionnement du système ;
- Du coût de maintenance et des entretiens.

VI.1.1. Coût de fonctionnement.

Pour le générateur d'ozone son ensemble, on a besoin de **1KW/h** (110V/60Hz-220V/50-60Hz) pour faire marcher le système. Pour le cas de Manakavaly, le système fonctionne 30 min /jr. Le montant du coût de fonctionnement est élevé à **3 034 Ar /mois** (voir annexe n° page 111).

Pour la maintenance et l'entretien du système, considérons que l'opérateur travaille 2h de temps par jour et que le SMIG malgache est de **80 000 Ar** (à base de 8h/j), le salaire de cet opérateur est alors fixé à **20 000 Ar**.

Le coût total de fonctionnement du système est alors **23 034 Ar/mois** (voir annexe page 111).

VI.1.2. Calcul du prix aux consommateurs.

Le prix du m³ d'eau selon ces coûts est donc **1 216 Ar** (voire annexe page 111). Le litre est alors 1,5 Ar et un seau de 15 L est de **20 Ar**.

Conclusion.

Sur des bornes fontaines en milieu rural, branchées aux réseaux de la JIRAMA, un seau de 15 L coûte 50 Ar.

Voici un tableau comparatif du tarif, en Ariary, de l'eau sortant d'un poste d'ozonation avec le tarif de la JIRAMA :

Tableau 32 : Comparaison tarifaire d'une eau traitée par un poste d'ozonation avec l'eau de la JIRAMA (1^{er} cas).

volume	Prix de l'eau de la JIRAMA	Prix de l'eau de Manakavaly.
m ³	<ul style="list-style-type: none"> - 1^{ère} tranche : 355 Ar - 2^{ème} tranche : 840 Ar 	1 216 Ar
Seau de 15 L	50 Ar	20 Ar

VI.2. Cas d'un investissement complet.

Le système est conçu pour un traitement de 300 000 gallons ou 1 135,500 m³. Pour une consommation comme Manakavaly, cette matérielle durerait 20 ans.

Dans le cas d'un nouveau projet, supposé 20 ans, où tout les matériaux sont à acheter, on doit considérer les paramètres suivants :

- Le coût d'investissement est le coût des matériaux avec le premier coût de fonctionnement en un mois ;
- Supposons que le prix d'un kWh d'électricité augmente de 5% /ans ;
- Des matérielles du poste d'ozonation sont changées tous les 20 ans, seul les filtre qu'on change tous les 5 ans.
- La monnaie malgache est touchée d'une inflation de 12% par an par rapport au dollar américain.

VI.2.1. Le coût des matériaux.

Dans ce cas, l'ozoneur est à acheter. Le prix de l'ozoneur s'élève à **\$ 2 800** avec les accessoires et on doit acheter 4 postes d'ozonation, c'est-à-dire tous les 5 ans. D'après les cours du change du 05/09/08, 1 USD vaut **1 629,80 Ar**.

Cette machine coûte alors **5 476 128 Ar**.

Sur le plan de recharge des pièces, les pièces concernées sont le filtre sédiment et les filtres carbones. Ces pièces sont indispensables pour le système. Supposons que la valeur de ces pièces vaut 20% de la valeur de l'ensemble et qu'on les change tout les **5 ans** avec un tau d'inflation de 12%.

Le coût des matérielles durant les 20 ans de traitement, avec les recharges, est de **14 003 955 Ar** (Voir annexe page 111).

VI.2.2. La salle d'ozonisation.

C'est la chambre qu'on installe la prozone ainsi que ses accessoires. Donc, son coût est le coût de construction et les prix des matériaux de construction.

Sa construction a du coûter **4 192 584 Ar** (voir annexe page 111).

VI.2.3. Le coût de fonctionnement.

Pour le générateur d'ozone avec ses accessoires, on a besoin de **1KW/h** (110V/60Hz-220V/50-60Hz) pour les faire marcher. Pour notre cas, le montant du coût de fonctionnement est élevé à **Ar 23 034 /mois**. Pendant les 20 années de traitement, le total de ce coût est de **1 380 209 Ar** avec un tau d'augmentation de 15% tout les 5 ans.

VI.2.4. calcul du prix de l'eau.

Pour ce projet on doit investir **9 691 746 Ar** pour le réaliser (voir annexe page 112). Pour le calcul du m³ d'eau, il faut tenir compte de l'ensemble du coût de fonctionnement avec les recharge des matérielles.

Alors, le prix du m³ d'eau est alors **18 072 Ar** (voir annexe page 112), le litre d'eau se vent alors **18 Ar**.

Ce prix est trop cher pour un pays en voie de développement comme Madagascar.

Conclusion.

Voici le tableau comparatif entre le prix en Ariary de l'eau sortant d'un poste d'ozonation et celui de la JIRAMA :

Tableau 33 : Comparaison tarifaire d'une eau traitée par un poste d'ozonation avec l'eau de la JIRAMA (2^{ème} cas).

volume	Prix de l'eau de la JIRAMA	Prix de l'eau Traité par une unité compacte microfiltration-ozonisation.
m ³	- 1 ^{ère} tranche : 355 Ar - 2 ^{ème} tranche : 840 Ar	17 248 Ar
Seau de 15 L	50 Ar	270 Ar

Les photos sur l'unité compacte de traitement :



Photo 17 : Poste d'ozonisation côté Sud-Est de l'Hôpital.



Photo 18 : Poste d'ozonisation côté Nord-Ouest de l'Hôpital.



Photo 19 : Les filtres carbones ou micro-filtres.



Photo 20 : Le filtre sédiment.



Photo 21 : Les pipes de contact.



Photo 22 : La pompe de refoulement.



Photo 23 : Le prozone ou générateur d'ozone.

3^{ème} Partie : ÉTUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET RECOMMANDATIONS SUR L'AEP DE MANAKAVALY.

CHAPITRE VII: ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.

D'après l'évaluation préliminaire effectuée, l'étude du projet de réhabilitation de l'approvisionnement en eau potable du CHD de Manakavaly devra être soumise au Programme d'Engagement Environnemental (PREE).

Le PREE consiste à :

- décrire le site du projet en évoquant les spécificités du milieu récepteur ;
- décrire la conduite du projet qui s'est focalisé sur la définition des sources d'impact environnemental ;
- déterminer les impacts spécifiques liés à l'opérationnalisation du projet ;
- proposer des mesures ; et
- établir le Plan de Gestion Environnemental du Projet (PGEP).

VII.1. Description du site.

Administrativement, le site se situe à Manakavaly, Commune d'Anjepy, District de Manjakandriana dans la région Analamanga.

Géographiquement, il se situe entre les latitudes **-18°51'** et **-18°50'** et les longitudes **47°42.216** et **47°43.407** à une élévation moyenne de **1500m**. La distance qui le sépare de son Chef lieu de Commune est de **4 km** à l'ouest.

La description consiste à mettre en évidence les milieux récepteurs qui se spécifient par leurs vulnérabilités à la mise en place du projet. Il s'agit des composantes ou éléments d'un lieu qui risquent de subir des impacts issus d'un projet.

VII.2. Milieu physique.

VII.2.1. Climat.

Il est caractérisé par deux saisons bien distinctes :

- Saison sèche qui dure 06 mois d'avril au mois de septembre ;
- Saison des pluies allant de mois d'octobre au mois de mars.

VII.2.2. Hydrologie.

Ressources en eau : les sources d'émergence prennent leurs origines dans la colline d'Amparihiroa se trouvant à proximité du village à **2km** (distance cartésienne); leurs débits sont évalués suffisants pour assurer le besoin de la population et c'est une raison de protéger cette ressource.

VII.2.3. Sols

Ses caractéristiques (propriétés physiques, chimiques) sont les mêmes depuis la ressource jusqu'au village, c'est un sol ferralitique sur une assise migmatite.

VII.2.4. Milieu biologique.

a. Flore.

Les formations sont plutôt des herbacées à dominance graminéennes avec des forêts (Eucalyptus, Pins) sujettes à la fabrication de charbon de bois et au bois pour réchauds.

b. Faune.

Par l'absence des formations ligneuses dans la zone, sauf le lac, la macrofaune a disparu. Il n'y reste plus que des animaux de petite taille et des poissons.

VII.3. Milieu humain.

VII.3.1. Population.

Nombre de population : 190 habitants, le nombre de malade dans l'hôpital n'est pas pris en compte puisque le nombre de malade venant des villages périphériques présente une très grande variation.

VII.3.2. Activités économiques.

L'agriculture reste l'activité principale de la population. Les rizicultures irriguée et pluviale tiennent le premier rang. Les cultures sur tanety et maraîchères viennent après.

Mise à part l'agriculture, la population pratique également de l'élevage.

VII.4. Description du projet.

Il s'agit de décrire et identifier des composantes ou éléments d'un projet qui sont susceptibles de produire des impacts sur l'environnement : sources d'impacts

VII.4.1. Les impacts environnementaux liés au projet.

Il s'agit de la nature, de l'amplitude et de l'importance des impacts qu'un projet provoque sur l'environnement récepteur.

a. Phase de réalisation.

Tableau 34 : Les impacts de la réalisation du projet.

RÉCEPTEUR	IMPACTS		Evaluation d'impacts
	Nature	Type	
Activités économiques	Création temporaire d'emploi	Direct ou indirect, Positif	Mineurs
Végétation	destruction de végétation	Direct, négatif, ponctuel, immédiat	Mineurs
Sol	dégradation	Direct, négatif, ponctuel, immédiat	Mineurs
Vie communautaire	Perturbation de la distribution	Direct, négatif, ponctuel, immédiat	Moyens

b. Phase de l'exploitation.

Tableau 35 : Les impacts de l'exploitation du projet.

RÉCEPTEUR	IMPACTS		Évaluation d'impacts
	Nature	Type	
Activités économiques	- Bonne santé, - Amélioration du classement de l'hôpital ; - Financement par les bayeurs	positif	Majeurs
Végétation	-	-	-
Sol	-	-	-
Vie communautaire	Accès à l'eau potable	Direct, positif, ponctuel, immédiat	Majeurs

VII.4.2. Les mesures d'atténuations.

Les mesures d'atténuations sont des procédés liées au projet qui doivent être à prendre pour atténuer les impacts négatifs sur l'environnement. Mais ces impacts négatifs ne sont présents qu'au moment de la réalisation du projet et qu'ils sont mineurs et passagers.

VII.5. Le plan de Gestion Environnemental du projet.

L'étude d'impact débouche sur un programme de surveillance et de suivi environnemental à mettre en œuvre durant toutes les différentes phases du projet et, le cas échéant, après la fermeture du projet. Cette section constitue la base du cahier des charges environnementales du promoteur, sous forme d'un plan de gestion environnemental (PGEP).

3^{ème} Partie : Étude d'impact environnemental et recommandations.

Puisque les impacts sont mineurs et passagers au moment de la réalisation du projet, ce PGEP n'est pas obligatoire.

L'étude d'impact de ce projet a permis de soulever les impacts négatifs probables qu'ils peuvent induire à son environnement. Beaucoup ont été recensés, mais des mesures vont être prises pour les atténuer.

Par ailleurs, cette étude nous a aussi conduit à mettre en relief l'impact positif du projet. Ces impacts sont grandement majeurs ; ceci recouvre les impacts négatifs du fait qu'il est indispensable pour le bien être sanitaire de la population et l'activité économique de l'hôpital.

CHAPITRE VIII: LES RECOMMANDATIONS SUR L'AEP DE MANAKAVALY.

Puisque le coût de l'eau traitée avec l'unité compacte de traitement est trop cher et que la capacité de traitement de l'unité est très faible et lent, il est préférable d'imposer des recommandations pour une longévité de l'AEP de Manakavaly.

VIII.1. Au niveau de la ressource.

Pour la protection de la ressource, il est recommandé de faire une clôture de protection contre toute pénétration que ce soit humaine ou animale. Cette clôture devrait être des arbres puisque l'ancienne clôture, en fil barbelé, a été détruite et volée par des paysans. Puisqu'on ferme le lac, on devrait prévoir un bassin de récupération en aval du grand barrage pour servir d'abreuvoir pour les batails et utiliser par les paysans passagers.

Ce lac devrait être aussi nettoyé tous les ans.

VIII.2. Au niveau du filtre.

L'eau filtrée a deux utilisations :

- Pour l'usage courant comme le lessivage et les toilettes ;
- Pour alimenter les deux unités compactes de traitement.

Puisque ces unités compactes de traitement n'arrivent pas à traiter un grand volume d'eau, l'ancien réseau est donc pour des eaux non traitées.

Il faut améliorer le fonctionnement du filtre pour avoir une meilleure qualité de l'eau dans l'ancien réseau. Cette amélioration concerne surtout la fréquence de lavage des massifs filtrants pour que l'eau sortante du filtre ne soit pas turbide pour une bonne longévité des filtres de l'unité compacte.

Physiquement et chimiquement, l'eau filtrée est potable mais sur le point de vue bactériologique non, alors il faut faire attention sur son emploi.

VIII.3. Au niveau de l'unité compacte.

Le point de distribution d'eau pour une eau traitée par l'unité compacte ne devra pas être loin du système parce que l'ozone n'a pas un pouvoir remmenant dans les conduites. A cause de ce manque de pouvoir rémanent, on doit évacuer l'eau dans la conduite avant chaque distribution et une conduite longue est difficile à évacuer et nécessite beaucoup un grand volume d'eau.

Tant qu'il y a encore de l'eau déjà traitée dans le réservoir, il ne faut jamais faire introduire de l'eau brute dans le système pour une efficacité du système.

Très important :

Cette unité compacte de traitement ne devrait pas être combinée avec d'autres désinfectants, comme le chlore, pour un bon fonctionnement des filtres carbones. Les autres désinfectants sont nuisibles pour ces micro-filtres.

VIII.4. Au niveau de la gestion de l'eau.

La population devrait donner des participations en échange de l'eau potable pour la maintenance et l'entretien du système ainsi que le respect des biens publics et tenir compte de la délicatesse de l'eau potable.

CONCLUSION.

L'approvisionnement en eau potable pour chaque famille est l'une des tâches primordiales de la politique de l'Etat malagasy, stipulée dans le MAP.

L'eau est la source de vitalité et de l'énergie, indispensable pour le développement. On doit l'accorder une valeur exorbitante dans la communauté. La situation actuelle oblige toute les entités concernées, l'Etat et les différents responsables locaux ou internationaux ainsi que les ONG, à réviser et appliquer une nouvelle réforme de l'accès à l'eau potable pour chaque population.

Le village de Manakavaly, abritant le Centre Hospitalier de District bénéficie, par l'intervention du SAF/FJKM et de l'organisme "The Living Water For the World", un système de traitement à unité de traitement microfiltration-ozonation.

Cette étude d'Avant projet Sommaire (APS) est issue de diverses collaborations de différentes entités, entre autre le SAF/FJKM, l'organisme "The Living Water For the World" et la population entière bénéficiaire du projet.

Lors des consultations des usagers qui ont exprimé leurs désiderata durant cette phase d'étude, on a pu axer l'étude d'APS autour des points suivants :

- la réhabilitation du réseau, de la ressource jusqu'à la distribution ;
- l'installation de deux unités de traitement microfiltration-ozonation ;
- une étude sur l'efficacité de ces unités de traitement.

Economiquement, ce projet n'apporte pas d'intérêt direct. Il s'agit donc plutôt d'un projet à caractère social. Ainsi, le calcul de TRI n'a pas été intégré dans notre dossier.

Toutefois, une étude économique basée sur les calculs des coûts de la réhabilitation, d'entretien figurent dans le dossier afin de tirer le prix du litre d'eau à titre de comparaison ce type de traitement unique à Madagascar.

Etant donné les divers avantages du projet mentionnés ci-dessus, sa faisabilité technique et la volonté des bénéficiaires à son aboutissement pour obtenir de l'eau potable ainsi que attribuer un développement de l'hôpital, nous invitons le SAF/FJKM à trouver les moyens pour les réhabilitations mentionnées.

La contribution de l'Etat autre que les interventions des ONG s'avère nécessaires pour le maintien durable du bon fonctionnement de l'approvisionnement en eau potable de l'hôpital ; cela nécessite un budget additif pour la réhabilitation de ces infrastructures en état de se ruiner.

Bibliographies.

1. P.CHAPERON, JOEL DANLOUX et LUC FERRY, Fleuves et Rivières de Madagascar.
Édition cédérom 2005, Paris, mars 1993, 874 pages.
2. J. PANIEL, Hygiène.
Classique Hachette, 79, BD S^t Germain - Paris VI^{ème}, 378 pages.
3. J.D RASOLOFONIAINA. Formation en technicien en Adduction d'Eau Potable.
Février 2004, 64 pages.
4. J.P LABORDE, Eléments d'hydrologie de surface.
Edition 2000. 192 pages.
5. R.V COMPERNOLLE et W. HOWIE, Résumé technique de filtration, microfiltration et traitement de l'ozone.
LWW, Novembre 2005, 14 pages.
6. A. LENCASTRE, Manuel d'Hydraulique Générale.
Edition Eyroles, Septembre 1986, 411pages.
7. A. DUPON, Hydraulique Urbain TOME II.
Edition Eyroles, Avril 1988, 483 pages.
8. P. BAPTISTE, Traitement des Eaux : Caractérisation des eaux potables.
ENGEES, 35 pages.
9. L.GERMAIN, L. COLAS et J. ROUQUET, Le traitement des Eaux destinées aux réseaux de distribution d'eau industrielles potable.
Edition DUNOD, 1976, 147 pages.
10. Lt COLONNEL SCWALD, Eau.
Ecole Supérieure du Génie Militaire, Eau 1182, 200 pages.
11. Manuel de procédure pour la mise en place des projets eau et assainissement. Rapport final.
ONG Taratra, contra N°05-04/MEM/AEPAR/AEPG, 179 pages.
12. Conseil de l'Organisation Mondial de la Santé sur la désinfection par l'ozone. Traitement des eaux et Contrôle Pathogène. Traité l'Efficacité dans Accomplir Eau potable sûre.

Annexes.

Annexe 1 : Les normes de potabilité.

1.1. Les normes françaises de potabilité.

Par l'arrêté du Ministère de la santé Publique du 10 Août 1961 modifié par l'arrêté des 26 Février 1962 et 7 Septembre 1967 : une eau, pour être considérée comme potable et pouvoir être distribuée à une collectivité, doit satisfaire aux conditions suivantes :

a. Normes bactériologique et microbiologique

- 1. Ne pas contenir d'organismes parasites ou pathogènes.
- 2. Ne pas contenir, dans le cas d'une eau non traitée, d'*Escherichia coli* (dans 100 ml d'eau) ni de streptocoques fécaux (dans 50 ml d'eau) ni de clostridium-sulfito-réducteurs (dans 20ml d'eau).

Ne pas contenir dans le cas d'une eau traitée, d'*Escherichia coli* (dans 100 ml d'eau) ni de streptocoques fécaux (dans 50 ml d'eau).

La présence, en petits nombres, de clostridium sulfito-réducteurs est tolérable dans une eau traitée et n'implique pas à elle seule la non potabilité de l'eau.

Microorganisme	Nombres limites
<i>Escherichia coli</i>	< 1 / 100 ml
Streptocoques fécaux	< 1 / 50 ml
Clostridium-sulfito-réducteurs	< 1 / 50 ml

b. Normes physico-chimique.

- 3. Ne pas présenter de coloration dépassant 20 unités (échelle colorimétrique au platino-cobalt) ni de turbidité supérieure à 15 gouttes de solution alcoolique de gomme mastic à 1/1000 en période normale d'exploitation. Toutefois, dans des circonstances exceptionnelles et pour une durée limitée, il peut être toléré qu'elle atteigne 30 gouttes de mastic (dans 50 ml d'eau optiquement vide).

Limites des concentrations en éléments toxiques selon les normes françaises de 1967.

Éléments toxiques	Concentrations limites (mg/l)
Plomb (Pb)	0,10
Sélénium (Se)	0,05
Fluorure (F)	1,00
Arsenic (As)	0,05
Chrome hexavalent	Néant (dose inférieures au seuil de déterminations analytique)
Cyanures	Néant (dose inférieures au seuil de déterminations analytique)

Annexes.

- 4. Ne pas avoir un pouvoir colmatant dû aux éléments en suspension supérieurs à 0,1 et ne pas contenir d'algue ou d'autres éléments figurés.
- 5. Ne pas présenter d'indice chimique de pollution ni de concentration en substances toxiques ou indésirables supérieures à celles qui sont fixées dans le tableau ci-dessous.

Limites des concentrations en éléments indésirables selon les normes françaises de 1967.

Éléments indésirables	Concentrations limites (mg/l)
Cuivre (Cu)	1,0
Fer (Fe)	0,2
Manganèse (Mn)	0,1
Zinc (Zn)	5,0
Composés phénoliques (phénol)	Néant

6. La minéralisation totale ne doit pas excéder 2 g/l. en outre, l'eau ne doit présenter ni odeur, ni saveur désagréable.

Enfin, une eau doit être pauvre en matières organiques (mois de 3mg/l).

Selon La circulaire du 1962 précise bien qu'aucune concentration limite en nitrate n'ait été fixée pour les adductions collectives ; on devra tenir compte du fait que des teneurs supérieures à 10 mg/l (en N) et 44 mg/l en NO₃ sont susceptibles de provoquer des troubles notamment chez les nourrissons. De plus, il est souhaitable que la concentration de certains éléments ne dépasse pas les chiffres ci dessous :

Limites des concentrations de quelques éléments selon les normes françaises de 1962.

Éléments	Concentrations limites (mg/l)
Magnésium (en Kg)	125
Chlorures (en Cl ⁻)	250
Sulfates (en SO ₄ ²⁻)	250

Il est désirable que le titre hydrométrique total soit inférieur à 30°français, le degré optimum paraissant s'établir aux environs de 10 à 15°.

1.2. Les normes internationales de potabilité (OMS).**a. Normes recommandées de qualité bactériologique.**

Les normes suivantes ont été établies en supposant la densité en bactéries pour échantillon exprimée par "le Nombre le Plus Probable" (indice MPN) d'organismes présents dans 100 ml d'eau.

Annexes.**Normes de qualité bactériologique de l'OMS.**

	Eau traitée	Eau non traitée
Dans 90% des échantillons examinés au cours d'une année, l'indice MPN devra être inférieur à :	1	10
Dans aucun des échantillons, cet indice ne devra dépasser :	10	20
Dans des échantillons consécutifs, on ne devra pas trouver l'indice MNP de :	8 à 10	15

b. Normes de qualité chimique et physique, substances toxiques.

Le tableau ci-dessous donne les teneurs limites de certaines substances dangereuses dans l'eau de boisson.

Normes physico-chimiques de potabilité de l'OMS.

Substances	Teneur maximum admissible (mg/l)
Plomb	0,05
Sélénium	0,01
Arsenic	0,05
Chrome	0,50
Cyanure	0,20
Cadmium	0,01
Baryum	1,00
Nickel	0,05
pesticide	$50 \cdot 10^{-4}$

Substances chimique tolérées dans l'eau :

	Teneur admissible (mg/l)
Matières solides totales	500
Couleur	5 unités *
Turbidité	5 unités **
Fer	0,30
Manganèse	0,10
Cuivre	1,00
Zinc	5,00
Calcium	75,00
Magnésium	50,00
Sulfate	200,00
Chlorure	200,00
Phénols	0,001
Phosphore	5,00
Argent	0,01
pH	7 à 6,5

* : échelle colorimétrique au platino-cobalt

** : NTU

c. concentrations maximales admissibles en éléments radioactifs.

Le tableau suivant montre la concentration maximale admissible en éléments radioactifs.

ANDRIA-MAROTSIHOARANA Vahatra.

Limites admissibles en éléments radioactifs selon les normes OMS.

Éléments	Limites en Microcurie/l
Strontium 90	30.10^{-6}
Radium 226	10.10^{-6}
Concentration totale	$1\ 000.10^{-6}$

Méthode d'analyse pour les normes bactériologiques.***i. Volumes étudiés.***

- Germes totaux : 1ml à 22°C et 37°C ;
- Coliformes : 200 ml à 37°C ;
- Coli E : 200 ml à 44°C ;
- Streptocoque fécaux : 200ml à 37°C
- Clostridium sulfito-réducteur 200 ml à 37°C.

ii. Expression des résultats.

- Par ml pour les germes totaux
- Par 100 ml pour les autres germes-tests.

iii. Normes.

⊕ Germes totaux :

Normes bactériologiques de potabilité de l'OMS.

1 à 2 germes	Eau potable
Jusqu'à 6	Trop de germes
> 6	Beaucoup trop de germes

Annexes.**Remarque :**

Si

GT 37° > GT 22°	Eau suspecte (origine humaine ou animale à sang chaud)
GT 37° < GT 22°	Origine saprophyte

Autre germes tests :

1 coliforme seul	ES
1 à 10 coliformes	ES (mais OMS : ENP)
1 coliforme + 1 streptocoque	ENP
1 streptocoque seul	ES
2 streptocoques	ENP
1 E. coli seul	ENP
E. coli + coliforme + streptocoque	ENP
Coliforme + streptocoque	ENP
Clostridium + coliforme	ENP
1 clostridium seul	Stérilisation inefficace

ES : Eau suspecte.

ENP : Eau non potable.

Annexe 2 : Les formules utilisées pour les calculs des pertes de charge linéaire.**Formule de Darcy.**

La formule de Darcy (ou Darcy – Weisbach) constitue le fondement à partir duquel on évalue la perte de charge pour l'écoulement dans les tuyaux et conduites.

$$j = \lambda \frac{V^2}{D \cdot 2g}$$

Pour les conduites circulaires, en faisant intervenir le débit, cette formule devient :

$$j = \lambda \frac{16}{2g\pi^2} \frac{Q^2}{D^5}$$

Soit :

$$j = 0.0826 \lambda \frac{Q^2}{D^5}$$

Avec pour **Darcy** :

$$\lambda = 0.0398 + \frac{0.001015}{D}$$

Formule de Colebrook.

La formule de Colebrook donne la formule de λ en fonction du coefficient de rugosité k , du diamètre D et du nombre de Reynolds R_e .

$$\frac{1}{\lambda^{0.5}} = -2 \log_{10} \left(\frac{k}{3.71D} + \frac{2.51}{R_e \lambda^{0.5}} \right)$$

La formule de Colebrook s'applique à des fluides quelconques, liquides et gaz, avec un régime d'écoulement turbulent.

La perte de charge j est obtenue par la formule de Darcy.

Formule de Blasius.

La formule de **Blasius** est valable pour les tuyaux lisses et un régime d'écoulement turbulent avec un nombre de Reynolds compris entre 3 000 et 100 000.

$$\lambda = 0.3164 R_e^{-0.25}$$

La perte de charge j est obtenue par la formule de Darcy.

Annexes.**Formule de Hazen Williams.**

La formule de Hazen Williams nous permet de calculer les caractéristiques des écoulements dans les conduites sous pression,

$$V = 0.849 C R_h^{0.63} s^{0.54}$$

Avec :

C : coefficient de Hazen Williams ;

R_h : rayon hydraulique égal avec :

$$R_h = \frac{D}{4}$$

s : pente de la ligne d'énergie.

Ainsi, à l'aide des équations de **Darcy-Weisbach** et de **Hazen Williams** on a le débit

$$Q = V \cdot S = S \cdot 0.849 C \left(\frac{D}{4} \right)^{0.63} s^{0.54}$$

Et on montre la relation qui existe entre les pertes de charges **j** qui se produisent dans une conduite coulant sous pression et le débit Q qui y passe (la pente d'énergie, **s**, étant égale au quotient de la perte de charge et de la longueur de la conduite) :

$$j = \frac{\beta Q^{1.852}}{D^{4.871} C^{1.852}}$$

β étant une constante et ses valeurs est donné dans le tableau suivant :

J (m)				
Q	m ³ /s	L/s	L/s	m ³ /s
D	m	mm	cm	mm
L	m	m	m	m
β	10,679	1,218 10 ¹⁰	163874	4,38 10 ¹⁵

Valeurs de β en fonction de Q, D, L et J.

Annexes.

Finalement, la perte de charge par mètre linéaire est donnée par la formule :

$$j = \frac{10,679Q^{1.852}}{D^{4.871}C^{1.852}}$$

Soit :

$$k = \frac{10,679}{C^{1.852}}$$

Et la vitesse moyenne dans la conduite est donnée par la formule :

$$V = 0,35464 \cdot C \cdot D^{0.63} j^{-0.54}$$

Les valeurs de **C** sont données dans le tableau suivant :

Valeurs de C	
Tuyaux droits et très lisses	140
Tuyaux de fonte lisse et neufs	130
Tuyaux de fonte usés	110
Tuyaux de fonte ayant quelques années d'usage	100
Tuyaux en mauvais état	80

Valeurs de C en fonction de l'état des tuyaux.

Pour notre cas, les conduites pour la réhabilitation sont en PEHD, alors le dimensionnement se fera pour un cas de tuyau droit et très lisses où **C=140** (on suppose que les tuyaux seront usés après 20 ans).

Donc :

$$k=0,00113 \sim 1,13 \cdot 10^{-3} \text{ mm}$$

Annexes.**Annexe 3 : Tableaux de dimensionnement des conduites****2.1. Dimensionnement du réseau I du côté sud-est de l'hôpital.**

Tronçon	Débit (pointe)		Diamètres (mm)	Vitesses (m/s)	Longueurs (m)	Perte de charge linéaire		Pertes de charge singulières	Pertes de charge totales	Côtes (m)		Charges (m)		Pressions au sol (m)
	Utile	Transité				j (m/m)	J (m)			Amont	Aval	Amont	Aval	
R-0		5,17	76,8	1,12	850	0,004	3,29	0,33	3,62	1545	1516	1545	1541	25
O-F1	0,11	0,11	16	0,55	50	0,023	1,15	0,12	1,27	1515	1516	1541	1540	24
O-A		1,87	53,6	0,83	120	0,016	1,90	0,19	2,09	1515	1516	1541	1539	23
A-F2	0,11	1,87	53,6	0,83	60	0,008	0,51	0,05	0,56	1516	1515	1539	1539	23
F2-O I	0,11	0,11	16	0,55	20	0,023	0,46	0,05	0,51	1515	1514	1539	1538	24
F2-BP I	0,11	0,11	16	0,55	43	0,023	0,99	0,10	1,09	1515	1515	1539	1538	22
F2-F3	0,11	1,65	53,6	0,73	42	0,012	0,52	0,05	0,57	1516	1516	1539	1538	22
F3-F4	0,11	0,33	20,4	1,01	20	0,062	1,23	0,12	1,36	1516	1516	1538	1537	21
F4-F5	0,11	0,22	20,4	0,67	15	0,027	0,41	0,04	0,45	1516	1516	1537	1536	20
F5-F6	0,11	0,11	16	0,55	30	0,023	0,69	0,07	0,76	1516	1516	1536	1536	20
F3-F7	0,11	1,21	42,6	0,85	25	0,021	0,52	0,05	0,57	1516	1516	1538	1538	22
F7-B		1,1	42,6	0,77	17	0,017	0,29	0,03	0,32	1516	1515	1538	1537	22
B-F8	0,11	0,33	20,4	1,01	25	0,062	1,54	0,15	1,70	1515	1515	1537	1536	21
F8-F9	0,11	0,22	20,4	0,67	55	0,027	1,51	0,15	1,66	1515	1513	1536	1534	21
F9-F10	0,11	0,11	16	0,55	35	0,023	0,81	0,08	0,89	1513	1510	1534	1533	23
B-EPP	0,11	0,77	34	0,85	70	0,026	1,83	0,18	2,01	1515	1514	1537	1535	21
EPP-C		0,66	34	0,73	75	0,019	1,44	0,14	1,58	1514	1514	1535	1534	20

Annexes.

C-F11	0,11	0,33	20,4	1,01	27	0,062	1,66	0,17	1,83	1514	1514	1534	1532	18
F11-F12	0,11	0,22	20,4	0,67	10	0,027	0,27	0,03	0,30	1514	1514	1532	1532	18
F12-F13	0,11	0,11	16	0,55	25	0,023	0,58	0,06	3,39	1514	1513	1532	1528	15

C-D		0,33	20,4	1,01	50	0,062	3,08	0,31	1,14	1514	1514	1534	1533	19
D-F14	0,11	0,11	16	0,55	45	0,023	1,04	0,10	1,14	1514	1513	1533	1531	18
D-F15	0,11	0,22	20,4	0,67	60	0,027	1,64	0,16	1,81	1514	1513	1533	1531	17
F15-F16	0,11	0,11	16	0,55	65	0,023	1,50	0,15	1,65	1513	1513	1531	1529	16

Annexes.

2.2. Dimensionnement du réseau II du côté nord-ouest de l'hôpital.

Tronçon	Débit (pointe)		Diamètres (mm)	Vitesses (m/s)	Longueurs (m)	Perte de charge linéaire		Pertes de charge singulières	Pertes de charge totales	Côtes (m)		Charges (m)		Pressions au sol (m)
	Utile	Transité				j (m/m)	J (m)			Amont	Aval	Amont	Aval	
A-F		3,19	64	0,99	220	0,019	4,17	0,42	4,59	1516	1512	1539	1535	23
F-F17	0,11	1,32	42,6	0,93	42	0,025	1,04	0,10	1,15	1512	1510	1535	1534	24
F17-F18	0,11	1,21	42,6	0,77	50	0,021	1,04	0,10	1,15	1510	1509	1534	1532	23
F18-F19	0,11	1,1	42,6	0,77	30	0,017	0,52	0,05	0,57	1509	1508	1532	1532	24
F19-F20	0,11	0,99	42,6	0,69	5	0,014	0,07	0,01	0,08	1508	1508	1532	1532	24
F17-BP II	0,11	0,44	26,2	0,82	22	0,031	0,69	0,07	0,76	1508	1506	1534	1533	27
BP II F21	0,11	0,33	20,4	1,01	15	0,062	0,92	0,09	1,02	1506	1510	1533	1532	22
F21-F22	0,11	0,22	20,4	0,67	35	0,027	0,96	0,10	1,05	1510	1509	1532	1531	22
F22-F23	0,11	0,11	16	0,55	45	0,023	1,04	0,10	1,14	1509	1508	1531	1530	22
F20-G		0,88	34	0,97	160	0,034	5,45	0,55	6,00	1508	1498	1532	1526	28
G-H		0,88	34	0,97	50	0,034	1,70	0,17	1,87	1498	1494	1526	1524	30

Annexes.

H-F24	0,11	0,22	20,4	0,67	60	0,027	1,64	0,16	1,81	1494	1506	1524	1522	16
F24-F25	0,11	0,11	16	0,55	40	0,023	0,92	0,09	1,02	1506	1507	1522	1521	14
H-I		0,66	34	0,73	55	0,019	1,05	0,11	1,16	1507	1506	1524	1523	17
I-F26	0,11	0,55	34	0,61	21	0,013	0,28	0,03	0,31	1506	1506	1523	1522	16
F26-F27	0,11	0,44	26,2	0,82	40	0,031	1,25	0,13	1,38	1506	1506	1522	1521	15
F27-F28	0,11	0,33	20,4	1,01	20	0,062	1,23	0,12	1,36	1506	1506	1521	1520	13
F28-F29	0,11	0,22	20,4	0,67	25	0,027	0,68	0,07	0,75	1506	1507	1520	1519	12
F29-F30	0,11	0,11	16	0,55	15	0,023	0,35	0,03	0,38	1507	1507	1519	1519	12
I-O II	0,11	0,11	16	0,55	210	0,023	4,85	0,48	5,33	1506	1502	1523	1517	15
F-J		1,87	53,6	0,83	150	0,016	2,37	0,24	2,61	1512	1510	1535	1532	22
J-F31	0,11	0,11	16	0,55	40	0,023	0,92	0,09	1,02	1510	1506	1532	1531	25
J-K		1,76	53,6	0,78	80	0,014	1,12	0,11	1,23	1510	1508	1532	1531	23
K-B1	0,11	0,55	34	0,61	15	0,013	0,20	0,02	0,22	1508	1504	1531	1531	27
B1-B2	0,11	0,44	26,2	0,82	25	0,031	0,78	0,08	0,86	1504	1504	1531	1530	26
B2-B3	0,11	0,33	20,4	1,01	25	0,062	1,54	0,15	1,70	1504	1504	1530	1528	24
B3-B4	0,11	0,22	20,4	0,67	25	0,027	0,68	0,07	0,75	1504	1504	1528	1527	23
B4-BP III	0,11	0,11	16	0,55	15	0,023	0,35	0,03	0,38	1504	1507	1527	1527	20

Annexes.

K-L		1,21	42,6	0,85	45	0,021	0,94	0,09	1,03	1508	1506	1531	1530	24
L-B5	0,11	0,44	26,2	0,82	20	0,031	0,63	0,06	0,69	1506	1506	1530	1529	23
B5-B6	0,11	0,33	20,4	1,01	25	0,062	1,54	0,15	1,70	1506	1506	1529	1527	21
B6-B7	0,11	0,22	20,4	0,67	25	0,027	0,68	0,07	0,75	1506	1506	1527	1527	21
B7-B8	0,11	0,11	16	0,55	25	0,023	0,58	0,06	0,63	1506	1506	1527	1526	20
L-M		0,77	34	0,85	30	0,026	0,78	0,08	0,86	1506	1504	1530	1529	25
M-bloc1	0,11	0,44	26,2	0,82	25	0,031	0,78	0,08	0,86	1504	1506	1529	1528	22
bloc1-bloc2	0,11	0,33	20,4	1,01	35	0,062	2,16	0,22	2,37	1506	1506	1528	1526	19
bloc2-bloc3	0,11	0,22	20,4	0,67	35	0,027	0,96	0,10	1,05	1506	1506	1526	1525	19
bloc3-BF	0,11	0,11	16	0,55	20	0,023	0,46	0,05	0,51	1506	1503	1525	1524	21
M-N		0,33	20,4	1,01	100	0,062	6,16	0,62	6,78	1504	1500	1529	1522	22
N-bloc 4	0,11	0,11	16	0,55	50	0,023	1,15	0,12	1,27	1500	1499	1522	1521	22
N-BP IV	0,11	0,22	20,4	0,67	300	0,027	8,22	0,82	9,04	1488	1497	1522	1513	16
BP IV-F32	0,11	0,11	16	0,55	130	0,023	3,00	0,30	3,30	1497	1502	1513	1510	8

Annexes.**Annexe 4: L'apport du bassin versant pour les périodes de retour données.**

La pluviométrie est donnée par le tableau suivant :

Manjakandriana	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc.
1968	155,2	159,2	88,5	39,3	5,4	8,6	17,1	0,3	5,0	0,1	194,4	239,5
1969	195,4	201,3	62,1	27,0	1,9	8,4	6,5	28,5	3,9	34,2	81,2	457,2
1970	157,6	233,5	150,0	19,3	3,4	9,6	1,9	8,5	1,1	2,0	210,5	125,4
1971	381,6	397,8	52,4	1,6	13,2	1,1	6,0	5,3	38,6	3,8	206,5	425,7
1972	329,9	379,4	250,1	32,8	43,3	6,0	13,8	22,8	2,7	74,9	174,0	260,7
1973	319,7	331,5	232,2	0,0	0,6	9,0	5,7	10,4	23,7	58,4	105,5	248,8
1974	178,2	250,0	91,4	130,7	57,2	35,6	5,4	3,9	6,1	90,9	88,7	454,1
1975	232,9	402,9	310,2	33,1	25,9	2,2	5,1	5,4	3,4	54,2	358,7	278,8
1976	76,1	188,5	49,6	15,2	23,6	4,9	7,3	37,7	1,3	150,4	79,5	477,7
1977	207,6	403,5	207,2	15,1	39,6	2,1	3,6	16,1	2,1	127,2	53,9	139,5
1978	203,3	112,0	99,0	112,8	63,5	7,8	44,2	12,2	90,6	18,1	180,0	147,2
1979	188,5	219,2	228,4	77,6	43,1	13,5	13,8	21,0	5,3	53,0	407,2	281,8
1980	293,1	149,2	358,6	41,9	7,7	0,9	18,8	1,6	4,0	156,3	62,3	195,0
1981	299,4	289,2	286,8	85,8	67,4	0,6	1,6	30,8	12,4	128,2	75,7	358,1
1982	808,7	398,1	322,8	23,2	9,1	4,7	28,1	4,2	62,8	75,2	161,5	118,8
1983	257,8	288,2	152,6	22,5	2,9	9,5	4,7	3,6	12,3	28,2	251,3	276,5
1984	442,7	441,2	153,7	60,3	1,1	5,9	7,1	20,4	2,7	71,4	304,8	136,6
1985	165,1	330,1	274,2	78,0	3,4	5,2	1,4	10,6	5,0	29,2	122,1	254,0
1986	85,5	303,5	125,1	103,8	52,7	1,8	2,1	11,3	3,8	197,3	156,4	193,6
1987	650,0	250,5	164,0	67,3	0,4	0,6	11,1	13,8	0,9	47,4	84,1	124,1
1988	358,0	169,7	69,4	21,3	10,4	2,0	23,6	1,2	1,1	28,0	103,3	302,3
1989	146,1	340,1	32,5	15,6	42,6	0,3	4,7	11,8	3,2	49,2	105,8	337,5
1990	141,8	180,8	69,6	29,8	9,2	2,7	2,5	0,9	27,2	53,7	86,1	172,3
1991	116,1	178,7	154,3	41,7	10,6	14,8	0,3	0,0	0,1	22,7	160,0	207,4
1992	435,1	202,8	154,2	40,4	2,0	0,7	1,5	14,0	0,7	10,5	222,6	81,9
1993	167,4	388,9	163,8	44,0	17,0	12,9	9,9	0,6	7,9	121,5	175,4	200,3
1994	738,8	238,1	267,8	50,2	3,4	21,8	11,2	11,5	8,1	43,8	12,8	185,5
1995	362,3	301,5	164,2	50,7	10,5	1,8	1,8	2,8	0,3	Nt	12,9	352,7
1996	599,8	200,0	276,8	0,6	1,8	0,4	2,5	10,0	7,5	5,4	9,7	319,2
1997	372,6	338,1	70,1	50,7	20,3	4,5	10,3	7,9	34,3	52,3	157,5	154,3
1998	135,7	454,6	128,8	42,9	11,4	1,7	4,2	13,7	34,5	9,5	16,6	320,3

Source : Météo.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P_m (mm)	296,8	281,4	168,1	44,4	19,5	6,5	9,0	11,1	13,3	59,9	142,6	252,5	1 305
%	22,8	21,6	12,9	3,4	1,5	0,5	0,7	0,8	1,0	4,6	10,9	19,4	100

T (ans)	U _F	Ecart type
5	0,84	266,8
10	1,28	266,8

T (ans)	Année sèche		Année humide	
	5 ans	10 ans	5 ans	10 ans
P _F	1 080,9	963,5	1 529,1	1 646,4

Annexes.

Les caractéristiques du bassin versant sont les suivant :

Superficie (km ²)	L (km)	Z _{max} (m)	Z _{min} (m)	Z _{moy} (m)	I (m/km)
0,32	4	1632	1572	1602	14,25

Méthode de **CTGREF** :

Pour estimer les apports du bassin versant du lac selon différentes période de retour en année sèche, on utilise la formule suivante :

$$Q = \frac{S}{31,5} \times \left(\frac{P_m}{B}\right)^{\frac{5}{3}} \times \left(\frac{Z_m}{100}\right)^{\frac{1}{3}}$$

Q : débit moyen annuel (module) du cours d'eau en litres par seconde;

B : Paramètre régional

P_m : pluviométrie moyenne annuelle en millimètres;

S : superficie du bassin versant en kilomètres carrés.

Z_m : altitude moyenne du bassin versant en mètres.

Apport annuel sur le bassin versant du lac d'Amparihiroa par la méthode de CTGREF pour les périodes de retours données.

Apport annuel sec (l/s)		Apport annuel humide (l/s)	
5 ans	10 ans	5 ans	10 ans
4,4	3,7	7,9	9,0

Pour la réparation mensuelle des apports, on utilise les coefficients de réparation d'Aldegheri pour les hautes terres centrales malgache pour l'étude hydrologique des PPI en 1986, donnés par le tableau suivant :

Coefficients de répartition de pluie d'Aldegheri pour les hautes terres centrales.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
16,9	16,7	17,1	9,7	5,7	4,1	3,7	3,4	2,6	2,4	4,8	12,9	100

Coefficients de répartition des apports déduits des coefficients l'Aldegheri.

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
0,99	0,98	1,00	0,57	0,33	0,24	0,22	0,20	0,15	0,14	0,28	0,75

La répartition mensuelle selon les différentes périodes en année sèche des apports est alors :

Annexes.

Répartition mensuelle des apports par la méthode CTGREF en périodes quinquennale sèche et décennale sèche.

T (année sèche)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5 ans	4,35	4,30	4,40	2,50	1,47	1,05	0,95	0,87	0,67	0,62	1,24	3,32
10 ans	3,66	3,61	3,70	2,10	1,23	0,89	0,80	0,74	0,56	0,52	1,04	2,79

Répartition mensuelle des apports par la méthode CTGREF en périodes quinquennale humide et décennale humide.

T (année Humide)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5 ans	7,81	7,72	7,90	4,48	2,63	1,89	1,71	1,57	1,20	1,11	2,22	5,96
10 ans	8,89	8,79	9,00	5,11	3,00	2,16	1,95	1,79	1,37	1,26	2,53	6,79

La méthode des stations de référence.

Comme référence, il est préférable de prendre la station sur la rivière Ikopa, au pont de Mahintsy dont les coordonnées ($x=18^{\circ}51'47S$; $y=47^{\circ}27'29E$) sont les plus proches que ceux de Manakavaly, au captage, ($x=18^{\circ}51'12$; $y=47^{\circ}27'24$), dans les Fleuves et rivières de Madagascar.

Les caractéristiques hydrologiques de cette station sont représentées sur la note ci après :

Cours d'eau : IKOPA	Coordonnées :	latitude : $18^{\circ}51'47 S$
Station : Pont de MAHINTSY		longitude : $47^{\circ}27'29 E$
Superficie du bassin versant :	Bilan hydrologique moyen	P = 1340 mm
(1780 km ²) naturelle	H =	590 mm
1684 km ² réelle	DE =	750 mm
période : 1947-1975	Ko =	44 %
Basses eaux	Etages (QJMin)	décennal
Influencés	Q m ³ /s	7.42
	q/l/s/km ²	4.4
		8.28
		4.9
		médian
		9.92
		5.9
		K3
		1.7

Apport annuel en l/s sur du bassin versant sur le lac d'Amparihiroa par la méthode de la station de référence pour les périodes de retour données.

Apport annuel sec (l/s)		Apport annuel humide (l/s)	
5 ans	10 ans	5 ans	10 ans
1,89	1,72	35,2	43,2

Source : Fleuves et rivières de Madagascar.

La réparation mensuelle de ces apports pour une période de retour de 10 ans est donnée par le tableau suivant :

Annexes.**Répartition mensuelle des apports en période quinquennale sèche et décennale sèche.**

T (année sèche)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5 ans	1,55	1,53	1,57	0,89	0,52	0,38	0,34	0,31	0,24	0,22	0,44	1,18
10 ans	1,39	1,38	1,41	0,80	0,47	0,34	0,31	0,28	0,21	0,20	0,40	1,06

Répartition mensuelle des apports en l/s en période quinquennale humide et décennale humide.

T (année Humide)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
5 ans	34,79	34,38	35,20	19,97	11,73	8,44	7,62	7,00	5,35	4,94	9,88	26,55
10 ans	42,69	42,19	43,20	24,51	14,40	10,36	9,35	8,59	6,57	6,06	12,13	32,59

Les valeurs prises sur terrain.

Le tableau suivant montre les valeurs obtenues par prises des débits faites à Manakavaly le 4 septembre 2008.

Les débits pris sur terrain.

	récipients	t ₁ (sec)	t ₂ (sec)	t ₃ (sec)	Débits (l/s)
q ₁	seau de 15 L	10,8	10,2	10,7	1,4
q ₂	seau de 15 L	49,4	49,7	50	0,3
q ₃	bouteille de 1,5 L	29,7	30,2	29,8	0,05
q ₄	bouteille de 1,5 L	16,2	15,3	15,7	0,01

q ₁	1,40 l/s
q ₂	0,30 l/s
q ₃	0,05 l/s
q ₄	0,01 l/s

q₁: Débit de captage égal débit arrivant au filtre ;

q₂: Débit du trop plein du réservoir ;

q₃: Débit sortant de la partie détruite du barrage ;

q₄: Débit de fuite du barrage.

D'après ces résultats, L'apport du bassin versant est de 1,46 l/s. cette valeur est proche de la valeur obtenue en mois de septembre en période de retours quinquennale humide.

D'après ces données, l'apport sur le bassin versant est de 1,46 l/s.

On peut avoir le coefficient de répartition mensuelle des apports en utilisant le pourcentage mensuel des pluies tombées.

On attribue à la valeur plus élevée la valeur de 1. Alors on a :

Annexes.

Annexe 5 : Calculs des prix pour la comparaison du prix de l'eau traitée par une unité compacte de traitement avec le prix de la JIRAMA selon les deux cas.

1^{er} cas : Cas de Manakavaly.

Pour cet cas, on ne considère que les coûts de fonctionnement du système.

5.1.1. Calcul du coût de fonctionnement.

Désignation	Unité	Prix unitaire (Ar)	Quantité	Montant (Ar)
1 ^{ère} tranche	kWh	140	15	2100
2 ^{ème} tranche	kWh	605	0	0
Redevance	Forfaitaire	760	1	760
Taxe de consommation	/kWh	6,26	15	93,9
Surtaxe: fond de travaux	/kWh	5,34	15	80,1
Redevance FNE	/kWh 2 ^{ème} tranche	7,56	0	0
Sous-total				3034
Employé	Forfaitaire	20 000	1	20 000
Total				23 034

5.1.2. Calcul des valeurs actualisées de ce coût de fonctionnement avec un tau d'actualisation de 15% tout les 5 ans.

Année	Coût
2008	276 408
2013	317 869
2018	365 550
2023	420 382
total	1 380 209

5.1.3. Calcul du prix du m³ d'eau.

Le m³ d'eau est alors 1 216 Ar.

Annexes.**2^{ème} Cas : Cas d'un investissement complet.****5.2.1. Sous détail de prix du coût du poste d'ozonation.**

Désignation	Unité	Prix unitaire (Ar)	Quantité	Montant (Ar)
<i>Maçonnerie de moellon</i>	m ³	109 666	4,25	466 082
<i>Maçonnerie de brique en terre cuite</i>	m ³	41 896	9,20	385 443
<i>Enduit en mortier dosé à 300 kg/m³</i>	m ²	9 096	48,60	442 066
<i>Béton Armé dosé à 350 kg/m³</i>	m ³	281 795	2,10	591 770
<i>Béton Armé dosé à 150 kg/m³</i>	m ³	185 795	0,30	55 739
<i>Coffrage en bois</i>	m ²	9 351	25,20	235 653
<i>Acier d'armature</i>	kg	3 712	237,30	880 855
<i>Menuiserie</i>	U	600 000	1,00	600 000
<i>Réservoir</i>	fft	385 200	1,00	385 200
<i>Total</i>				4 042 808

5.2.2. Valeur actualisée du coût des matérielles de recharge du système d'ozonation.

Année de recharge	Coût de l'ozoneur
2 013	1 608 665
2 018	2 835 018
2 023	4 996 271
Total	9 439 955

Annexes.**5.2.3. Calcule du coût d'investissement.**

Pour un investissement complet, les coûts à tenir compte sont :

- Le coût des matériels ;
- Le coût de la salle d'ozonisation ;
- Le coût de fonctionnement du premier mois.

Coût des matériels	5 476 128
Coût de la salle d'ozonisation	4 042 808
Coût de fonctionnement du premier mois	23 034
Total	9 541 970

5.2.4. Le prix du m³ d'eau.

Pour la détermination du prix du m³ d'eau les coûts à tenir compte sont :

- Le coût d'investissement ;
- Le coût de fonctionnement en 20 ans ;
- Le coût des matériels de rechanges.

coût d'investissement	9 541 970
coût de fonctionnement en 20 ans	1 380 209
coût des matériels de rechanges	9 439 955
Total	20 362 134

Le prix du m³ est alors : 18 072 Ar.

Table des matières.

INTRODUCTION.....	1
1^{ère} Partie : PRESENTATION DE L'ETUDE	3
CHAPITRE I: RAPPELS THEORIQUES.....	3
I.1. Définition d'une AEP et d'une eau potable.....	3
I.2. Le traitement d'une eau de surface.....	3
<i>I.2.1. Les prétraitements.....</i>	4
a. Le dégrillage.....	4
b. Le tamisage.....	4
c. Le dessablage ou débourbage.....	4
d. La préoxydation.....	4
d ₁ . Objectifs.....	4
d ₂ . Méthodes.....	4
• La préchloration.....	5
• La préozonation.....	5
• Les autres préoxydations.....	5
<i>I.2.2. La clarification.....</i>	5
a. Objectifs.....	5
b. Traitement.....	5
a ₁ . La coagulation-flocculation.....	6
a ₂ . La décantation.....	6
a ₃ . La filtration.....	6
<i>I.2.3. La désinfection.....</i>	7
<i>I.2.4. La neutralisation.....</i>	7
I.3. Les normes de potabilité.....	8
<i>I.3.1. Les normes françaises de potabilité.....</i>	8
a. Les conditions bactériologiques et microbiologiques.....	8
b. Les conditions physicochimiques.....	9
<i>I.3.2. Les normes internationales de potabilité (OMS).....</i>	10
a. Normes recommandées de qualité bactériologique.....	10
<i>i. Volumes étudiés.....</i>	10
<i>ii. Expression des résultats.....</i>	10
b. Normes de qualité chimique et physique, substances toxiques.....	10

Tables des matières.

I.3.3. <i>Les normes malgaches de potabilité.</i>	11
a. Les normes physico-chimiques malgaches de potabilité.	11
b. Les normes bactériologiques.	13
I.4. Notion de distribution d'eau potable.....	14
❖ Le réseau ramifié.	14
❖ Le réseau maillé.....	14
CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	16
II.1. Situation de Manakavaly.....	16
II.1.1. <i>Localisation.</i>	16
II.1.2. <i>Topographie.</i>	18
a. Topographie générale.....	18
b. Levée topographique et levée GPS.....	18
Conclusion :	19
II.1.3. <i>Climatologie et végétation.</i>	19
a. Climatologie de Manakavaly.....	19
b. La végétation de Manakavaly.....	21
II.1.4. <i>La population.</i>	22
II.1.5. <i>Habitat.</i>	22
II.1.6. <i>Les infrastructures (en 2008).</i>	23
2^{ème} Partie : ETUDE DE LA REHABILITATION DE L'AEP DE MANAKAVALY.....	24
CHAPITRE III: ETUDE DE LA REHABILITATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION DE L'AEP DU CHD DE MANAKAVALY.....	24
III.1. L'ancien réseau d'AEP de Manakavaly.....	24
III.1.1. <i>Présentation de l'ancienne chaîne de traitement.</i>	24
III.1.2. <i>Historique et description de l'ancien réseau.</i>	24
a. La ressource en eau.....	25
b. La prise.....	25
c. La conduite d'aménée vers le filtre.	25
d. Le filtre.....	25
e. Le réservoir.....	25
f. Le réseau de distribution.....	26
III.2. Les différentes réhabilitations l'AEP de Manakavaly.....	26
III.2.1. <i>La première réhabilitation de 1968.</i>	26

ANDRIA-MAROTSIHOARANA Vahatra.

Tables des matières.

a. Présentation de la chaîne de traitement après les travaux de réhabilitation.....	26
b. Les travaux effectués.....	27
b ₁ . Au niveau de la ressource	27
b ₂ . Au niveau de la conduite d'amenée ressource-filtre.....	27
b ₃ . Dans la chambre de filtration.....	28
c. Sur le réservoir.....	29
d. Sur les conduites de distribution.....	31
<i>III.2.2. La réhabilitation de 2008.....</i>	32
a. Présentation de la chaîne de traitement.....	34
b. Les travaux effectués.....	34
b ₁ . Au niveau de la ressource	34
b ₂ . Au niveau de la conduite d'amenée ressource-filtre.....	34
b ₃ . Dans la chambre de filtration.....	35
b ₄ . Dans le réservoir	35
b ₅ . Sur les conduites de distribution.	35
b ₆ . Les unités de traitements microfiltration-ozonation.....	36
III.3. Redimensionnement des conduites du réseau d'AEP de l'hôpital.....	37
<i>III.3.1. Evaluation de la demande de l'hôpital.....</i>	37
a. Les tendances démographiques	37
b. Hypothèses de calcul	37
b ₁ . Sur la dotation en eau.....	37
b ₂ . Sur le réservoir.....	38
b ₃ . Sur le dimensionnement des conduites.....	38
b ₄ . Sur la vitesse et la pression de service.....	39
b ₅ . Sur le calcul des pertes de charge.....	40
b ₆ . Sur le rendement	41
c. Analyse de la demande future de l'hôpital.....	41
Le coefficient de pointe.....	41
<i>III.3.2. Etude de la ressource.....</i>	42
a. Apport annuel du bassin versant.....	42
a ₁ . Calcul des apports par la méthode de CTGREF.....	42
b ₂ . Calcul des apports par la méthode des stations de référence.....	43
b ₃ . Les valeurs prises sur terrain.	44
b. Adéquation ressource besoin.....	45
c. Capacité du lac	45
III.4. ETUDE DU COÛT DU PROJET DE REHABILITATION.....	46
<i>III.4.1 Les prix unitaires.....</i>	46

Tables des matières.

<i>III.4.2. Les coûts des travaux.....</i>	46
a. Calcul des travaux de réhabilitation des conduites.....	46
a ₁ . Conduite d'amenée.....	46
a ₂ . Conduite de distribution.....	47
<i>III.2.2. Les ouvrages annexes des deux barrages de retentions.....</i>	49
Résumé	50
Les photos sur d'AEP de Manakavaly.....	51

CHAPITRE IV: ETUDE DE L'UNITE DE TRAITEMENT DU CHD DE MANAKAVALY.**55**

IV.1. Description d'une unité de traitement microfiltration-ozonation à Manakavaly.....	55
<i>IV.1.1. Schéma descriptif du système d'amont en aval.....</i>	55
<i>IV.1.1. Fonctionnement du système.....</i>	58
Remarque :	59
IV.2. Les étapes du traitement du système.....	60
<i>IV.2.1. La micro filtration.....</i>	60
a. Le filtre sédiment.....	60
b. Les filtres carbones ou micro-filtres.....	61
<i>IV.2.2. L'ozonation ou désinfection par l'ozone.....</i>	62
a. La fabrication de l'ozone par un générateur d'ozone.....	62
IV.3. Dimensionnement du lieu de contact avec l'ozone.....	63
<i>IV.3.1. Détermination de la concentration d'ozone.....</i>	63
<i>IV.3.2. Détermination du nombre de boucles ou passages.....</i>	64

CHAPITRE V: ETUDE DE L'EFFICACITE DU TRAITEMENT68

V.1. Notion de microbiologie.....	68
<i>V.1.1. Les virus.....</i>	68
a. Leurs propriétés.....	68
a ₁ . Ce sont des microbes.....	68
a ₂ . Ils sont pathogènes.....	68
a ₃ . Les virus sont des parasites intracellulaires.....	68
b. leur constitution.....	68
b ₁ . Taille.....	68
b ₂ . Formes.....	69
b ₃ . Nature chimique.....	69

Tables des matières.

<i>V.1.2.Les bactéries.....</i>	69
a. constitution des bactéries.	69
a ₁ . Forme et classification des bactéries.....	69
a ₂ . Structure bactérienne.	70
a ₃ . Identification des espèces.....	70
b. Biologie bactérienne.....	71
b ₁ . Nutrition des bactéries.	71
b ₂ . Respiration et fermentation.	71
b ₃ . Sécrétion de toxines.....	71
b ₄ . La reproduction des bactéries.	71
Remarque	72
<i>V.1.3. Dimension de quelques microorganismes avec leurs formes actives et leurs traitements.....</i>	73
<i>V.2. Efficacité de l'unité compacte de traitement.</i>	75
<i>V.2.1. Sur le plan physico-chimique.....</i>	75
a. Les prélèvements.	75
b. Les résultats d'analyse.....	75
c. Interprétation des résultats.	77
Remarques	77
<i>V.2.2. Sur le plan bactériologique.</i>	77
a. Présentation des échantillons.	77
b. Les résultats d'analyse.....	78
c. Interprétation des résultats.	78
CHAPITRE VI:COUT DE L'EAU TRAITEE PAR L'UNITE COMPACTE ET COMPARAISON AVEC LE PRIX DE LA JIRAMA.....	80
<i>VI.1. Etude du 1^{er} cas.....</i>	80
<i>VI.1.1. Coût de fonctionnement.....</i>	80
<i>VI.1.2. Calcul du prix aux consommateurs.</i>	80
<i>VI.2. Cas d'un investissement complet.</i>	81
<i>VI.2.1. Le coût des matérielles.....</i>	81
<i>VI.2.2. La salle d'ozonisation.</i>	82
<i>VI.2.3. Le coût de fonctionnement.....</i>	82
<i>VI.2.4. calcul du prix de l'eau.....</i>	82
Conclusion.	82
<i>Les photos sur l'unité compacte de traitement :.....</i>	83
ANDRIA-MAROTSIHOARANA Vahatra.	

Tables des matières.

3^{ème} Partie : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET RECOMMANDATIONS SUR L'AEP DE MANAKAVALY.....	85
CHAPITRE VII: ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL.....	85
VII.1. Description du site.....	85
VII.2. Milieu physique.....	85
VII.2.1. Climat	85
VII.2.2. Hydrologie	86
VII.2.3. Sols	86
VII.2.4. Milieu biologique.....	86
a. Flore	86
b. Faune	86
VII.3. Milieu humain.....	86
VII.3.1. Population	86
VII.3.2. Activités économiques.....	86
VII.4. Description du projet.....	86
VII.4.1. <i>Les impacts environnementaux liés au projet.....</i>	86
a. Phase de réalisation.....	87
b. Phase de l'exploitation	87
VII.4.2. <i>Les mesures d'atténuations.....</i>	87
VII.5. Le plan de Gestion Environnemental du projet.....	87
CHAPITRE VIII: LES RECOMMANDATIONS SUR L'AEP DE MANAKAVALY.....	89
VIII.1. Au niveau de la ressource.....	89
VIII.2. Au niveau du filtre.....	89
VIII.3. Au niveau de l'unité compacte	90
VIII.4. Au niveau de la gestion de l'eau	90
CONCLUSION.....	91
ANNEXES.....	93

Nom : **ANDRIA-MAROTSIHOARANA**

Prénom : **Vahatra**

Adresse: **IAI 159 C Antsahakely Antsahamasina Ambohidrapeto Itaosy 102**

Téléphone: **032 04 486 02**

Titre : "Étude de la réhabilitation et de l'efficacité de l'unité compacte de traitement microfiltration-ozonisation de l'approvisionnement en eau potable du CHD de Manakavaly district de Manjakandriana région Analamanga."

Nombre de pages : **118**

Nombre de figures : **18**

Nombre de tableaux : **33**

RÉSUMÉ

L'accès à l'eau potable est un des leviers indispensable pour le développement d'un village ou d'une région. L'hôpital de Manakavaly. Ce dernier pourra bientôt bénéficier les avantages de l'accès à l'eau potable puisque on a initié l'étude de la réhabilitation de l'AEP de cet hôpital.

Cette réhabilitation est marquée surtout par l'implantation des deux unités compactes de traitement microfiltration-ozonisation qui est une première dans l'approvisionnement en eau à Madagascar, et dans les années à venir, ce sera une référence. Ce mode de traitement permet d'avoir une eau potable de très bonne qualité quoiqu'il nécessite un investissement considérable.

Le présent ouvrage permet d'abord, de refaire une étude sur le dimensionnement du réseau d'AEP de l'hôpital, ensuite, d'approfondir le fonctionnement, le mode d'action du système et l'efficacité du système sur la désinfection des microorganismes et enfin, l'étude de l'impact de cette réhabilitation sur la vie de l'hôpital ainsi que les recommandations sur l'AEP de ce dernier.

La réhabilitation de l'AEP à Manakavaly est une contribution à l'essor de cette partie de la région d'Analamanga à la fois pour sa population mais surtout pour le CHD qui fait sa renommée.

Mots clés : Adduction d'eau potable, Normes de potabilité, traitement, Unité compacte de traitement « microfiltration-ozonisation », Analyses d'eaux, Réseau de distribution, Réhabilitation.

Patron du mémoire : Monsieur **RAKOTONIRINA Simon**, Chef du Volet Eau et Assainissement, **SAF/FJKM**
Immeuble Ifanomezantsoa Analakely Antananarivo 101

Encadreur pédagogique : Monsieur **RAMANTSOA Benjamin**, Maitre de Conférences d'Enseignement Supérieur à l'École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo.