

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT

LISTE DES ABREVIATIONS.....	i
LISTE DES TABLEAUX.....	ii
LISTE DES FIGURES.....	ii
LISTE DES PHOTOS.....	ii
INTRODUCTION GENERALE.....	1

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. GENERALITES	3
I.1.1. LE CYCLE DE L'EAU	3
I.1.2. BILAN HYDROLOGIQUE [5].....	3
I.2. DEFINITION.....	4
I.2.1.PRECIPITATION.....	4
I.2.2. INFILTRATION.....	4
I.2.3.EVAPORATION-EVAPOTRANSPIRATION.....	4
I.2.4. RUISSELLEMENT [6] [5].....	5
I.2.5. EAUX SOUTERRAINES [6].....	5
I.2.6. NAPPE AQUIFERE [6].....	5
I.2.7. NAPPE PHREATIQUE [6].....	5
I.2.8. NORME DE POTABILITE [9]	5
a) Définition de la Norme [8].....	5
d) Norme de qualité	6
e) Norme de quantité.....	6
f) Qualité de service (temps mis pour la corvée d'eau)	6

CHAPITRE II: DESCRIPTION DU SITE D'ETUDE

II.1. PRESENTATION D'ANTSAMPANANA	8
II.1.1. LOCALISATION ET DESCRIPTION D'ANTSAMPANANA.....	8
II.1.2. PROJECTION DE LA CONSOMMATION JOURNALIERE EN EAU DANS 15 ANS ...	9
II.1.3.BESOIN JOURNALIERE EN EAU.....	11

CHAPITREIII: ETUDE DE FAISABILITE TECHIQUE

III.1.ETUDE DE FAISABILITE.....	13
---------------------------------	----

III.2. LA RESSOURCE EN EAU CAPTEE A ANTSAMPANANA	13
III.3. TYPES D'OUVRAGES NORMALISES	14
III.3.1. ADDUCTION GRAVITAIRE D'EAU POTABLE [6].....	14
III.3.2. PUIITS FERME EQUIPE D'UNE POMPE A MOTRICITE HUMAINE	15
III.3.3. ADDUCTION D'EAU POTABLE PAR UN FORAGE MOTORISE.....	15
III.4. EQUIPEMENT D'UN PUIITS.....	17
III.4.1. CUVELAGE.....	17
III.4.2. LE CAPTAGE.....	17
III.4.3. LES BUSES BARBACANES.....	17
III.4.4. MASSIFS FILTRANTS.....	18
III.4.5. EQUIPEMENT DE SURFACE.....	18
III.5. PROTECTION DE L'OUVRAGE DE CAPTAGE.....	19
III.5.1. DEFINITION DE L'OUVRAGE DE CAPTAGE.....	19
III.5.2. PERIMETRE DE PROTECTION.....	19
III.5.3. PERIMETRE DE PROTECTION DE L'OUVRAGE DE CAPTAGE D'ANTSAMPANANA.....	20
III.6. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE.....	21
III.6.1. SYSTEME DE POMPAGE.....	21
III.6.2. RESERVOIR DE STOCKAGE.....	21
III.6.3. CONDUITE D'ADDUCTION ET DE DISTRIBUTION.....	22
III.6.4. KIOSQUE.....	23
<i>CHAPITRE IV: ETUDE QUALITATIVE DE L'EAU</i>	
IV.1. NORME DE POTABILITE MALAGASY.....	25
IV.2. RESULTAT D'ANALYSE.....	27
IV.2.1. RESULTATS JIRAMA.....	27
IV.2.2. RESULTATS INSTN.....	28
IV.3. ORIGINE DU FER ET DU MANGANESE DANS L'EAU [16]	29
IV.3.1. INCOVENIENTS DU FER ET MANGANESE.....	29

IV.4. LE TRAITEMENT DES EAUX	30
IV.4.1. PROCEDES PHYSIQUES	30
IV.4.2. PROCEDES CHIMIQUES	31
IV.4.3. LES TECHNIQUES DE TRAITEMENTS DES EAUX [6]	31
IV.4.3. REACTIONS CHIMIQUES.....	32
IV.4.4. TECHNIQUE DE TRAITEMENT DE L'EAU D'ANTSAMPANANA	32
IV.5. ANALYSE DE L'EAU APRES TRAITEMENT.....	35
IV.5.1. METHODE DE PRELEVEMENT	35
IV.5.2. LES PARAMETRES DETERMINES ET LES MATERIELS UTILISES :	36
IV.5.3. RESULTATS DES ANALYSES ET INTERPRETATION.....	37
<i>CHAPITRE V: MESURE A PRENDRE ET AMELIORATION</i>	
V.1. AU NIVEAU DU PERIMETRE DE PROTECTION	40
V.2. AU NIVEAU DU BASSIN DE TRAITEMENT	40
V.3. AU NIVEAU DU RESERVOIRE DE STOCKAGE	40
CONCLUSION GENERALE.....	41
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES et WEBIOGRAPHIQUES	

LISTE DES ABREVIATIONS

°C : Degré Celsius

°F : Degré Fahrenheit

AEP : Adduction d'Eau Potable

APS : Avant projet sommaire

CEG: Collège d'Enseignement Général

cm : Centimètre

DN : Densité nominal

E. Coli : Escherichia Coli

EPP: Ecole Primaire Publique

FJKM: Fianganan'i Jesoa Kristy eto Madagasikara

INSTN : Institut National des Sciences et Techniques

Nucléaires

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

ℓ/sec : Litre par seconde

ℓ/sec/m : Litre par second par mètre

m : Mètre

m³ : Mètre cube

m³/h : Mètre cube par heure

mg/l : Gramme par litre

ml/sec : Millilitre par second

mm : Millimètre

mn : Minute

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PEHD : Poly Ethylène Haute Densité

Pers : Personne

pH : Potentiel d'Hydrogène

Pk : Point Kilométrique

PN : Pression nominal

PVC : Polychlorure de vinyle

RN : Route Nationale

TA : Titre Alcalimétrique

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

Km : Kilomètre

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Liste des institutions et leur effectif actuel d'Antsampanana.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau2: Liste des lieux de culte et leur effectif actuel d'Antsampanana.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 3 : Liste des entreprises et leur effectif actuel.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 4: Estimation de l'effectif de la population et la consommation journalière dans 15 ans.....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 5: paramètre chimique des éléments normaux.....</i>	<i>25</i>
<i>Tableau 6 : paramètre chimique des éléments anormaux.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 7 : paramètre chimique des éléments toxiques.....</i>	<i>26</i>
<i>Tableau 8 : Paramètres déterminés et les matériels utilisés.....</i>	<i>36</i>
<i>Tableau 9 : Résultat d'analyse physico-chimique effectué au Jarama.....</i>	<i>37</i>

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1: Cycle de l'eau.....</i>	<i>3</i>
<i>Figure2 : schéma d'un puits moderne</i>	<i>5</i>

LISTE DES PHOTOS

<i>Photo n°1 : Buse barbacane.....</i>	<i>18</i>
<i>Photo n°2 : Périmètre de protection immédiate de source d'approvisionnement..</i>	<i>20</i>
<i>Photo n°3 : Réservoir de stockage.....</i>	<i>22</i>
<i>Photo n°4: Bassin de traitement.....</i>	<i>33</i>
<i>Photo n°5 : Bassin de traitement chimique.....</i>	<i>34</i>
<i>Photo n°6 : Petite cuve de dosage de la chaux.....</i>	<i>34</i>
<i>Photo n°7 : Bassin de filtration.....</i>	<i>35</i>
<i>Photo n°8 : Floccs de ferromanganèse.....</i>	<i>35</i>

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est un élément indispensable pour l'homme. Selon le code de l'eau, l'eau à distribuer doit être potable, en quantité suffisante pour contribuer au maintien de la santé.

À Madagascar, de source auprès du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), le taux d'accès à l'eau potable enregistré en 2012 est de 45 % contre 43 % en 2011. L'Objectif du Millénaire pour le Développement fixe ce taux à 65 % pour 2015[1].

Un habitant sur 6 n'a pas accès à l'eau potable, et 2 sur 5 n'utilisent pas une latrine hygiénique. Les maladies hydriques, conséquences de la consommation d'eau contaminée contenant des bactéries et virus, font parties des causes de la morbidité infantile des moins de 5 ans dans les pays du tiers monde. Selon la Charte des Nations Unies, l'accès à l'eau potable est un droit fondamental pour tout citoyen. Les conditions de vie de la population s'améliorent lorsqu'elle aura une eau de bonne qualité et de quantité suffisante [2].

La région Est de Madagascar présente des ressources en eau de quantités suffisantes avec une pluviométrie abondante presque toute l'année. Le problème dans cette zone est la qualité de l'eau, notamment la présence excessive du fer et du manganèse.

Ainsi cette étude a pour objectifs de proposer des techniques et des moyens pour l'élimination du fer et du manganèse dans l'eau, protéger la source d'approvisionnement et maintenir une bonne potabilité de l'eau.

L'étude comprend trois parties :

La première partie est la généralité et définition dans laquelle des notions du cycle de l'eau, La description du site de travail dans la deuxième partie. La troisième partie concerne l'étude de faisabilité, l'étude qualitative de l'eau est dans la quatrième partie, enfin les mesures à prendre et les améliorations dans la cinquième partie

CHAPITRE I :
GENERALITE ET DEFINITION

I.1. GENERALITES

I.1.1. LE CYCLE DE L'EAU

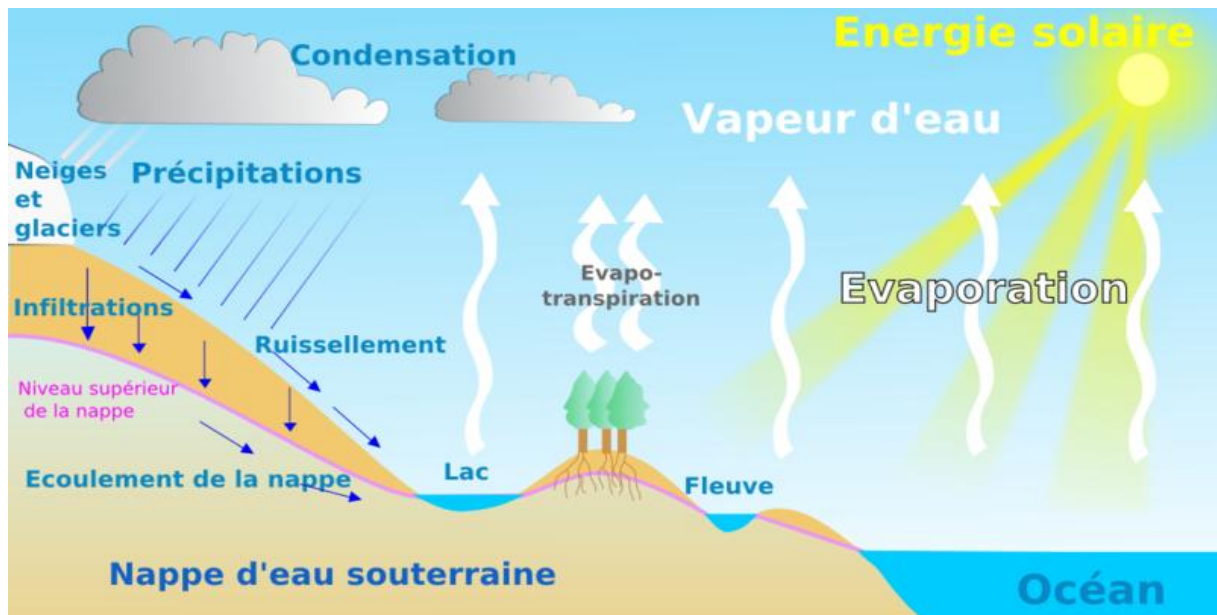


Figure 1 : Cycle de l'eau [3]

Le cycle de l'eau est la transformation d'eau en vapeur sous l'action de l'évaporation au niveau du plan d'eau (eau de surface, eau de rivière, eau de lac, eau de l'océan...), et de la transpiration des végétaux, donc de l'évapotranspiration. La vapeur d'eau monte vers l'atmosphère et se condense en nuages et engendre les précipitations sous formes liquide ou solide. Une partie de cette précipitation ruisselle et grossit le réservoir de surface. D'autres parties s'infiltrent et assurent l'humidification du sol : la recharge et la réalimentation de la nappe aquifère. Les eaux de la nappe aquifère émergent au niveau des sources par suintement et alimentent les réseaux de surface, surtout à la saison d'étiage (baisse la plus importante du niveau des eaux fluviales) [4].

I.1.2. BILAN HYDROLOGIQUE [5]

$$P = R + I + ETP \pm \Delta S$$

P: quantité d'eau de pluie tombée ou précipitations

R: quantité d'eau en ruissellement

I: quantité d'eau infiltrée dans le sous sol

ETP: quantité d'eau d'évapotranspiration

± ΔS: quantité d'eau stockée à la nappe ou absorbée

I.2. DEFINITIONS

I.2.1. PRECIPITATIONS [6]

On appelle Précipitations toutes eaux provenant de l'atmosphère qui tombent à la surface de la terre sous forme solide ou liquide : brouillards, pluies, neiges, grêles

Dans l'atmosphère, la quantité d'eau maximale qui peut être absorbée est fonction seule de la température, mais certaine transformation tel que l'abaissement de température peut entraîner une augmentation de cette tension de vapeur maximale admissible de la température. Il a donc sursaturation et excès de vapeur d'eau qui se condense sous forme de gouttelettes.

Si la température est inférieure à 0, l'excès de vapeur se transforme en glace.

I.2.2. INFILTRATION [6]

L'écoulement hypodermique est la partie de la précipitation infiltrée qui chemine d'abord de manière quasi-horizontale dans la couche supérieure du terrain pour réapparaître à l'air libre à la rencontre d'un chenal, d'un talus ou plus généralement de la surface du sol qui se trouve au niveau inférieur à celui du point d'infiltration. L'eau s'infiltré, rencontre une couche imperméable et s'accumule pour former les nappes aquifères. La réserve d'eau augmente au fur et à mesure que la pluie augmente. L'eau apparaît à l'air libre sous forme de sources où la durée du trajet de l'écoulement est généralement plus longue par rapport à celui des autres écoulements.

I.2.3. EVAPORATION –EVAPOTRANSPIRATION [6]

L'évaporation est le phénomène qui transforme l'eau en vapeur d'eau par un phénomène physique. L'évaporation se fait par les feuilles des plantes, par les tiges des plantes ou par la surface d'eau stagnante et courante (marre, fleuve, ruisseau ...), par les eaux souterraines de faible profondeur qui remonte à surface par capillarité.

La transpiration est l'évaporation de l'eau par le processus de transpiration des plantes qui, par leurs racines vont puiser par les profondeurs du sol l'eau nécessaire à leur développement et leur vie. L'évapotranspiration est l'ensemble des processus d'évaporation et de transpiration. Le taux d'évaporation pour la nappe d'eau dépend de son étendue et de sa profondeur. L'évaporation est en fonction croissante de la température.

Pour les lacs peu profonds et de faibles étendues, la température de l'eau varie avec l'insolation et la température de l'air ; donc le taux d'évaporation varie avec le milieu ambiant. Pour les grands lacs profonds et de grandes étendues, la température est assez régulière et varie peu avec le milieu ambiant. Le rayonnement solaire provoque l'évaporation en surface mais emmagasine en profondeur une réserve d'énergie. Même si la température ambiante s'affaiblit, celle de l'eau peut rester chaude et il arrive que durant la saison chaude, l'eau reste froide gardant sa température d'hiver et l'évaporation suit ce rythme.

I.2.4. RUISSELLEMENT [6]

Le ruissellement constitue la partie de la précipitation qui tombe sur un bassin versant donné, qui coule à la surface du sol, pour sortir à l'exutoire.

I.2.5. EAUX SOUTERRAINES [6]

On appelle Eaux souterraines la partie des eaux qui s'infiltrent sous le sol et qui alimentent la nappe aquifère.

I.2.6. NAPPE AQUIFERE [6]

Une nappe aquifère est qualifiée par un réservoir d'eaux souterraines. Elle est constituée par la rencontre avec une couche géologique imperméable telle l'argile, ou de différents types de roches au niveau de son trajet.

I.2.7. NAPPE PHREATIQUE [7]

Une nappe phréatique ou nappe superficielle est celle qui se forme près de la surface au-dessus de la première couche imperméable. Son niveau dit hydrostatique correspond au niveau de l'eau dans le puits. Il n'est pas horizontal mais ses divers points se placent sur une surface dite piézométrique, sensiblement parallèle à la surface du sol.

I.2.9. NORME DE POTABILITE

a) Définition de la Norme [8]

.Les normes définissant une eau potable sont variables suivant la législation en vigueur et selon qu'il s'agit d'une eau industrielle ou destinée à la consommation.

b) Accès a l'eau potable

L'accès à l'eau potable se définit par la satisfaction de la desserte par rapport à trois critères essentiels : quantité, qualité du produit et qualité de service.

c) Eau potable [6]

Une eau est potable quand elle satisfait à certain nombre de caractéristique la rendant propre a al consommation humaine.

d) Norme de qualité [6]

L'eau distribuée à la population par le service public d'eau potable doit respecter la norme de potabilité décrétée par l'état Malagasy. S'il s'agit d'une eau traitée, des analyses bactériologiques devraient être faite périodiquement par l'Organisme Régulateur .Si l'eau provient des ouvrages normalisés, les périmètres de protection devraient être respectés. Mais, dans les pays en voie de développement comme Madagascar, l'accessibilité aux laboratoires de référence est encore difficile pour les zones éloignées. Une définition standardisée de l'eau potable a été prise en considération par l'état malagasy. L'eau est considérée comme potable lorsqu'elle provient **des sources d'approvisionnement normalisées.**

e) Norme de quantité

Selon la norme appliquée par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé), toute personne vivante, ayant une activité normale, utilise de l'eau potable pour sa consommation et son hygiène corporelle de 15 à 45 ℓ par personne par jour [6].

f) Qualité de service (temps mis pour la corvée d'eau)

Le ménage a accès à l'eau potable lorsque le point d'eau d'approvisionnement se situe à une distance de 15mn à pieds (aller et retour) de son habitation [6].

CHAPITRE II :
LA DESCRIPTION DU SITE
D'ETUDE

II.1. PRESENTATION D'ANTSAMPANANA

II.1.1. LOCALISATION ET DESCRIPTION D'ANTSAMPANANA

Antsampanana est un village situé sur la route nationale N°2, pk 219, Commune de Mahatsara, district de Brickaville, Région Antsinana. Les coordonnées géographiques sont les suivantes : Sud : 18° 58' 54,8''/ Est : 48° 56' 27,8''.

La commune rurale de Mahatsara est délimitée par :

- Au Nord : La Commune Rurale de Vohipeno, District Brickaville.
- Au Sud : La Commune Rurale de Ranomafana, District Brickaville.
- A l'Est : La Commune Rurale d'Andevoranto, District Brickaville.
- A l'Ouest : La Commune Rurale d'Ambotitavolo, District Vatomandry.

➤ Climat :

Comme sur tout le littoral de Madagascar, et d'après la classification de Thorntwaite, la Commune Rurale de Mahatsara et le bourg d'Antsampanana se trouvent dans une région hyper humide. Ils bénéficient d'un climat à deux saisons distinctes :

- Chaude et moins pluvieuse : du mois de septembre au mois de mai
- Très pluvieuse et fraîche : du mois de juin au mois d'août.

Les précipitations moyennes annuelles sont supérieures à 1500mm et peuvent atteindre ou voire dépasser 3000mm. Les saisons sont peu contrastées. En saison sèche, la quasi -totalité des précipitations mensuelles dépassent 1000mm. La température moyenne annuelle reste comprise entre 20 et 25°C. La température du mois le plus frais reste supérieure à 15°C. On observe une forte humidité atmosphérique et la nébulosité est presque toujours importante. L'évapotranspiration moyenne est comprise entre 900 et 1300mm.

➤ Population :

Selon les données disponibles et recoupées auprès du Fonkotany, le nombre de la population s'élève actuellement à 2 468 habitants.

- Nombre de population totale : 2 468 habitants
- Nombre de population à desservir : 2 468 habitants

➤ Institutions :

Ecole : Antsampanana présente 4 écoles et 1 collège dont :

Tableau 1 : Liste des institutions et leur effectif actuel d'Antsampanana

Ecole	Effectif actuel des élèves
EPP	230
Ecole FJKM	63
Ecole Privée Diapason	88
Ecole Privée Dauphin	200
CEG	288

Institutions de culte : Antsapanana a plusieurs Institutions de culte dont :

Tableau 52: Liste des lieux de culte et leur effectif actuel d'Antsampanana

Institutions de culte	Effectif actuel des membres
Eglise catholique romaine	230
FJKM	530
Eglise RHEMA	320
Témoins de Jéhovah	100
Ara-pilazantsara	53
Eglise luthérienne	100
Assemblée de Dieu	100

➤ **Entreprises :**

Actuellement, les entreprises d'Antsampanana sont constituées par des gargotes, des épiceries, des restaurants et autres.

Tableau 3 : Liste des entreprises et leur effectif actuel

Entreprise	Effectif actuel
gargotes	38
Epicerie	21
Restaurant	17
Autres	10

II.1.2. PROJECTION DE LA CONSOMMATION JOURNALIERE EN EAU DANS 15 ANS

Pour un horizon donné, le nombre de la population est donné par la formule :

$$P_n = P_a (1 + a)^n$$

P_n : nombre de la population à un horizon donné (2012+15 = 2027)

P_a : nombre de la population recensée

a : taux d'accroissement, dont à Madagascar est de l'ordre de 2,6%

n : l'horizon ($n = 15$ ans)

$$P_{27} = 2\,468 \times (1+0,026)^{15}$$

$P_{27} = 3\,627$ habitants

Le nombre de la population est estimé à 3 627habitants dans 15 ans.

Projection de la population à desservir : 3 627 habitants.

Tableau 4: Estimation de l'effectif de la population et la consommation journalière dans 15 ans

Utilisateur	%	Effectif actuel	%	Effectif dans 15 ans	unité	Dotation en eau (litre/j)	Besoin en eau dans 15 ans (m ³)
POPULATION							
-Kiosque à eau	20,2	499	7,4	275	pers	15	4 096,97
-Branchements sociaux	45,5	1122	36,36	1398	pers	16	22 368
-Branchements privés	34,3	849	56,49	2171	pers	27	58 617
Total des besoins en eau de la population							85 082
INSTITUTIONS							
Ecole							
EPP Antsampanana		230		358	Elève	10	3 580
Ecole FJKM		63		98	Elève	10	980
Ecole Privée Diapason		88		137	Elève	10	1 370
Ecole Privée Dauphin		200					
CEG		288					
Institutions de Culte							
Eglise catholique		230		358	Fidèle	2	716
FJKM		530		826	Fidèle	2	1652
Eglise RHEMA		320		499	Fidèle	2	998
Témoins de Jehovah		100		156	Fidèle	2	312
Ara-pilazantsara		53		83	Fidèle	2	166
Eglise luthérienne		100		156	Fidèle	2	312
Assemblée de Dieu		100		156	Fidèle	2	312
Jesosy Mamonjy		100		156	Fidèle	2	312
Terrain de football		1		1	U	1000	1000
Total des besoins en eau des institutions							11 710
ENTREPRISES							
Gargotes		13					
Kiosque à eau	34,00	4	20,51	12	U	141	1 691,40
Branchements sociaux	10,00	21	14,10	8	U	240	1 920,84
Branchements privés	56,00		65,38	39	U	276	10 763,33
Epicerie		7					
Kiosque à eau	34,00	2	20,51	7	U	305,4	2 137,53
Branchements sociaux	10,00	12	14,10	5	U	332	1 660,40
Branchements privés	56,00	6	65,38	22	U	382	8397,44
Restaurant- hôtel							
Kiosque à eau	34,00	2	20,51	5	U	533	2 665,86
Branchements sociaux	10,00	10	14,10	4	U	580	2 319,20
Branchements privés	56,00	20	65,38	17	U	666	11 329,89
Marché							
Kiosque à eau				31	U	14	436,23

Utilisateur	%	Effectif actuel	%	Effectif dans 15 ans	unité	Dotation en eau (litre/j)	Besoin en eau dans 15 ans (m3)
Autres							
Kiosque à eau	34,00	2	20,51	2	U	103	205,65
Branchements sociaux	10,00	1	14,10	1	U	112	111,82
Branchements privés	56,00	3	65,38	6	U	129	771,19
Total des besoins des entreprises							44 410,89
Total des besoins en m³							141 202,86
Besoin total en eau, y compris les pertes estimées à 20% en m³							176 503,57
Débit en l/s							2,04

II.1.3. BESOIN JOURNALIER EN EAU

Le besoin journalier en eau de la localité est donné par la formule :

$$V_j = (P_n \times 30)$$

V_j : besoin journalier en eau d'un village

30 : quantité de consommation d'eau par personne par jour

P_n : nombre de la population estimé dans 15 ans

$$V_j = 3627 \times 30 = 108,810 \sim 110 \text{ m}^3$$

$V_j = 110 \text{ m}^3/\text{j}$
--

CHAPITRE III :
ETUDE DE FAISABILITE
TECHNIQUE

III.1. ETUDE DE FAISABILITE

Le projet d'AEP (Adduction d'Eau Potable) d'Antsampanana est une adduction d'eau par pompage qui consiste à capter la nappe alluviale au moyen de deux puits connectés au niveau de la colonne de captage. Les puits se trouvent à Sandranaty, situé à 1km de la localité. Cet emplacement a été choisi afin d'éviter les pollutions diffuses et accidentelles.

L'Etude géophysique et hydrologique effectuée par le consultant du projet a proposé d'implanter le captage au point de coordonnées S 18° 58' 42,7''/ E 48° 56' 47,0' avec une profondeur de 7m environ.

La collecte des données sur terrain et la réalisation des études hydrogéologiques ont permis d'apprécier les ressources disponibles.

Ainsi, la présence d'une rivière coulant tout près de l'ouvrage de captage confirme la quantité suffisante des ressources disponibles. En se référant au sens du pendage des terrains naturels et le niveau le plus bas de la cuvette à proximité de la RN2, la nappe est de type libre. Le niveau statique se situe à 2m par rapport au terrain naturel, l'épaisseur d'aquifère est de 10m environ.

La qualité de l'eau est douce avec une faible minéralisation. Le débit spécifique est estimé à 0,8 à 1,4 l/sec/m.

III.2. LA RESSOURCE EN EAU CAPTEE A ANTSAMPANANA

➤ *Nappe alluviale* [9] :

Une nappe alluviale est un cas particulier de nappe libre. Une nappe libre est une nappe peu profonde située sous un sol perméable.

Les nappes alluviales sont des nappes qui circulent dans les sédiments des rivières ; une masse d'eau se trouvant dans des terrains alluvionnaires. Elles se trouvent à faible profondeur et sont donc relativement faciles d'accès pour des prélèvements d'eau.

Une nappe alluviale est le plus souvent la nappe d'accompagnement d'un cours d'eau, avec lequel elle communique jusqu'à rencontrer une barrière géologique imperméable : si le niveau de la rivière s'élève rapidement (en période de crue), une partie de l'eau s'infiltrera pour recharger la nappe, tandis qu'au contraire en cas d'étiage, le débit du cours d'eau sera augmenté par l'écoulement de la nappe qu'il draine.

Les puits et forages en nappe alluviale permettent d'obtenir une eau de meilleure qualité que celle de la rivière, ayant été filtrée par le sous-sol, et abondante si le débit de la rivière est

élevé. Si ce débit est plus faible, des prélèvements importants dans sa nappe d'accompagnement auront pour effet d'aggraver l'étiage de la rivière, voire de l'assécher.

III.3. TYPES D'OUVRAGES NORMALISES

III.3.1. ADDUCTION GRAVITAIRE D'EAU POTABLE [6]

Cet ouvrage-type est constitué d'un captage des sources situées à une altitude plus haute par rapport aux agglomérations à desservir, d'une conduite d'amener, d'un réservoir de stockage et d'un réseau de distribution desservant des bornes fontaines et des branchements particuliers. Si l'eau captée ne présente pas les conditions de potabilité fixées par l'Etat, des ouvrages de traitement complètent les infrastructures. Le débit doit satisfaire la demande effective du village, avec une possibilité d'augmentation dans le futur en fonction de l'accroissement de la population et selon une production durable, c'est-à-dire sans risque de diminution de débit ou d'assèchement, même en saison sèche.

Les problèmes techniques à résoudre sont de trouver une source répondant aux paramètres ci-dessus et située à une altitude suffisante pour assurer l'écoulement gravitaire vers l'ensemble du village concerné.

L'exploitation de l'eau de source présente deux avantages :

- La régularité du débit des sources
- La possibilité de capter de l'eau directement consommable.

Le périmètre de protection de ce système d'adduction d'eau a comme délimitation la ligne de crête du bassin versant de la source captée, qui englobe la surface de réalimentation de la nappe souterraine alimentant la source.

Pour bien protéger la source contre les pollutions :

- il faut mettre une clôture sur la crête du bassin versant et interdire les activités agricoles à l'intérieur du périmètre,
- mettre une deuxième clôture autour de la source captée disposant d'un système d'étanchement, d'un canal de protection contre les eaux de ruissellement,
- mettre un canal de collecte d'eaux de ruissellement.

L'adduction d'eau gravitaire présente un coût de fonctionnement faible. C'est le type d'adduction d'eau le plus adapté pour les petits centres des hauts plateaux de Madagascar.

III.3.2. PUIITS FERME EQUIPE D'UNE POMPE A MOTRICITE HUMAINE

Un puits est un ouvrage de captage d'eau souterraine à faible profondeur, avec un diamètre du trou relativement grand. En général, cet ouvrage est équipé d'une pompe manuelle et utilisé dans les villages à faible densité de population ou dans les zones enclavées. Ce système est à programmer lorsqu'il n'est pas possible de réaliser un des autres types d'ouvrages normalisés. Ainsi il est composé de trois parties différentes, à savoir : le captage, le cuvelage et l'aménagement de surface [6].

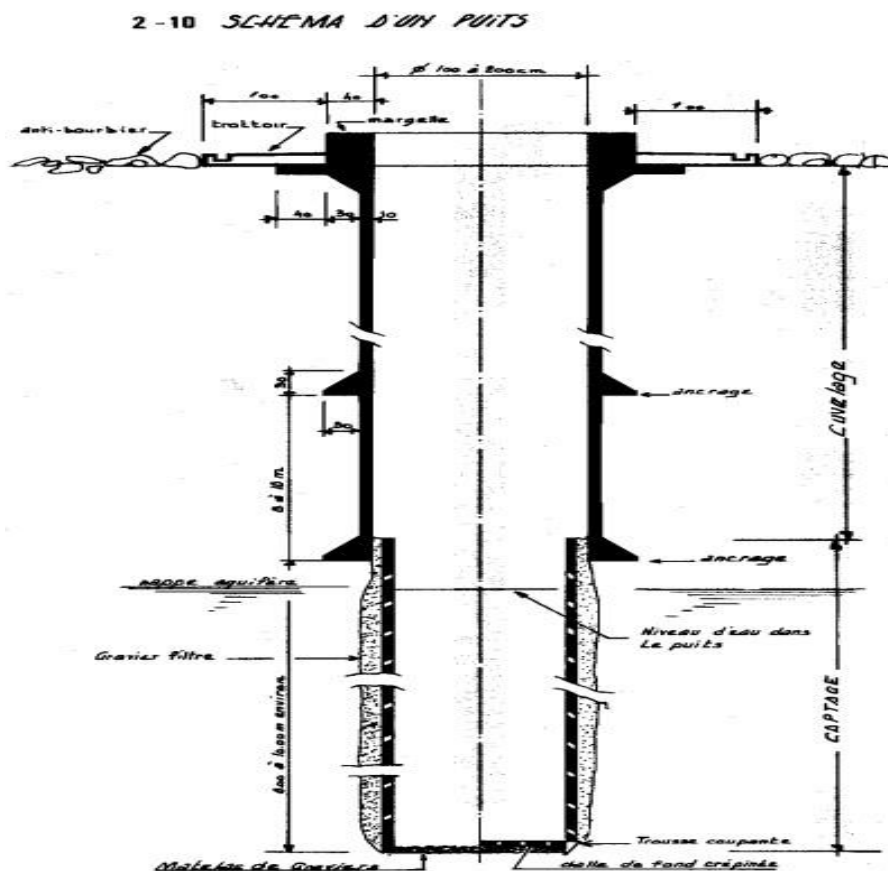


Figure 2 : schéma d'un puits moderne [16]

III.3.3. ADDUCTION D'EAU POTABLE ALIMENTEE PAR UN FORAGE MOTORISE [6]

Ce type d'ouvrage est utilisé lorsqu'il est nécessaire de capter l'eau souterraine pour alimenter une adduction d'eau. Compte tenu de la minéralisation de l'eau captée, des ouvrages de traitements simples pourraient être envisagés (deferriseur). On peut pomper l'eau jusqu'à 100 m de profondeur. Pour bien protéger le forage qui est le principal ouvrage de captage, il faut que :

1. l'étanchéité de l'ouvrage soit assurée grâce à son équipement. Toutes les structures doivent être exécutées correctement afin de bien remplir leur fonction de protection de l'eau du forage ;

2. l'ouvrage de captage soit conçu de manière à éviter les infiltrations directes des eaux de surface le long du tubage du forage ; prévoir pour cela un tubage plein dont l'étanchéité dans les zones superficielles du forage est garantie par une cimentation de l'annulaire, sur au moins 5 mètres de profondeur ;

3. un massif filtrant constitué de graviers correctement calibrés remplit l'espace annulaire dans la zone de forage ;

4. un bouchon d'argile coulé à la partie supérieure du massif filtrant permet d'éviter toute communication entre la zone superficielle et la zone captée ;

5. la margelle soit en béton ;

6. un anti-bourbier (constitué de blocs de cailloux ou de graviers), aménagé au-delà de la dalle, empêche la formation d'une mare autour du point d'eau, la largeur minimum de ce périmètre de protection est de 5 m ; il doit être clos par un mur de protection destiné à empêcher le passage des animaux.

Le forage sera équipé de pompe électrique immergée fonctionnant en général avec un groupe électrogène.

Les ouvrages composant une adduction d'eau par pompage sont :

- le forage équipé d'une pompe,
- la conduite d'amener,
- le stockage d'eau,
- la station de traitement,
- la conduite de distribution,
- les branchements particuliers,
- les bornes fontaines.

Etant donné le coût de la motorisation, ce type d'ouvrage sera plutôt utilisé pour les villages plus importants ou plus denses. Une étude socio-économique doit être entreprise pour connaître les demandes effectives actuelles et futures, pour évaluer la volonté des usagers potentiels à recourir à des branchements particuliers, à payer leur participation à l'entretien et à la maintenance, et à respecter les règles de gestion. Cette connaissance est nécessaire pour l'estimation des coûts des travaux.

Tous les calculs des ouvrages de génie civil et surtout les dimensionnements des conduites doivent être faits en basse eau, notamment le débit disponible et la qualité des eaux. Les

installations ne doivent pas seulement satisfaire la demande pour l'année de service en cours, il faut aussi prévoir les besoins futurs. Toutefois, elles ne doivent pas être non plus surdimensionnées car cela risque d'accroître indûment le coût des investissements. La connaissance de la qualité des ressources en eaux permet de prévoir et de bien dimensionner une station de traitement appropriée.

Un deuxième facteur important à prendre en compte est le type d'énergie à utiliser : thermique (moteur diesel), électrique (reliée au réseau), solaire ou éolienne (zone isolée).

A cause des coûts de fonctionnement élevé, l'utilisation de cet ouvrage est assez limitée.

II.4. EQUIPEMENT DES PUITES

III.4.1. CUVELAGE [10]

Le cuvelage est constitué par des buses qui sont posées dans la partie non productive du sous sol, c'est à dire, la partie au-dessus de la nappe. C'est un tour de buses pleines que l'on empile les unes sur les autres. Les buses pleines empêchent les infiltrations de la terre.

III.4.2. LE CAPTAGE [10]

C'est la partie la plus importante de l'ouvrage. C'est un tour de buses barbacanes placées dans la nappe qui assure l'arrivée de l'eau dans l'ouvrage. La dernière buse barbacane, c'est-à-dire la plus profonde est pourvue d'une trousse coupante. Au fond du captage est placée une dalle de fond également en barbacane. Les buses barbacanes et la dalle de fond sont entourées de graviers filtres ou massifs filtrants.

III.4.3. LES BUSES BARBACANES [10]

Les buses barbacanes constituent l'élément fondamental du captage. Elles sont localisées dans la nappe à capter.



Photo n°1: Buses barbacanées

III.4.4. MASSIF FILTRANT [11]

Le gravier utilisé pour le massif filtrant doit être composé de particules bien arrondies, lisses et uniformes, dimensionnées de manière appropriée, et composées à 95% de matériaux non solubles (calcaire à proscrire). Le gravier doit être lavé avant le placement. Le massif de gravier doit être placé durant une opération continue. Il doit avoir son niveau supérieur au moins à deux mètres au-dessus du toit aquifère et de la zone crépine. L'épaisseur du massif filtrant ne doit pas être en dessous de 100 mm et il est inutile de dépasser les 200 mm.

III.4.5. LES EQUIPEMENTS DE SURFACE

Les équipements de surface sont les éléments visibles en surface d'un puits. Les équipements de surface sont nécessaires pour faciliter l'accès au puits et son exploitation. On peut citer :

➤ ***La margelle*** [10] :

C'est une surélévation du cuvelage qui constitue une protection contre les chutes, la pollution du puits.

➤ ***L'aire assainie ou l'aire d'assainissement*** [10] :

C'est la partie cimentée entourant le puits. Elle a pour but d'empêcher que l'eau stagne et s'infiltré dans la nappe en longeant le cuvelage. Elle joue également le rôle d'encrage de puits en surface. Elle est constituée par une dalle bétonnée généralement armée, de forme circulaire

de 2 à 3m ou rectangulaire de 4 à 5m de côté, avec une légère pente (2 à 4%) vers l'extérieur. Un petit caniveau entourant l'ensemble collecte les eaux excédentaires et les conduit vers un puisard situé de 5 à 10 m du puits. Le puisard est un trou de 1m de diamètre ou de côté et de 1m de profondeur environ, rempli de blocage de pierre. L'ensemble de la partie cimentée est clôturé pour éviter l'accès des animaux aux alentours du point d'eau. On dispose entre la partie cimentée et la clôture des empierrements appelés anti-bourbier.

III.5. PROTECTION DE L'OUVRAGE DE CAPTAGE

III.5.1. DEFINITION D'UN OUVRAGE DE CAPTAGE

C'est un ouvrage qui est utilisé pour capter et exploiter les ressources en eau, afin de les utiliser dans le système d'AEP.

III.5.2. PERIMETRES DE PROTECTION [12]

(DECRET N° 2003-940 relatif aux périmètres de protection)

Pour la protection des points de prélèvements des eaux destinées à la consommation humaine et autour des points de captage d'eau tels que sources, puits, forages, impluviums, retenues de barrages, réservoirs enterrés ainsi qu'ouvrages de prise, d'adduction et de distribution d'eau à usage alimentaire, il est institué deux périmètres : l'un de protection immédiate, l'autre de protection rapprochée, éventuellement complétés par un troisième périmètre dit de protection éloignée.

Le périmètre de protection immédiate a pour fonctions de protéger les ressources en eau, d'empêcher la détérioration des ouvrages de prélèvement et de l'environnement, et d'éviter que des déversements ou des infiltrations de substances polluantes se produisent à l'intérieur ou à proximité immédiate du captage. Le périmètre de protection immédiate doit se faire en même temps que l'installation du point d'eau, et chaque périmètre doit avoir sa propre réglementation.

Le périmètre de protection rapprochée a pour fonction de protéger efficacement le captage vis à vis de la migration souterraine des substances polluantes.

Le périmètre de protection éloignée prolonge éventuellement le précédent pour renforcer la protection contre les pollutions permanentes ou diffuses. Il sera créé si l'on considère que l'application de la réglementation générale, même renforcée, n'est pas suffisante, en particulier s'il existe un risque potentiel de pollution que la nature des terrains traversés ne permet pas de réduire en toute sécurité, malgré l'éloignement du point de prélèvement.

L'établissement du périmètre de protection immédiate est fait sur la base d'une étude qui doit comprendre notamment un rapport hydrologique et hydrogéologique, et un rapport d'évaluation de l'état quantitatif de la ressource, de sa vulnérabilité vis à vis des dangers de pollution ou de dégradation et, éventuellement, des risques encourus par les ouvrages.

A l'intérieur des périmètres de protection rapprochée ou éloignée, l'arrêté visé à l'article 9 ci-dessus peut réglementer les activités, installations ou dépôts qui, compte tenu de la nature des terrains, présentent un danger de pollution pour les eaux, du fait de la nature et de la quantité de produits polluants liés à ces activités, installations et dépôts.

distribuée aux consommateurs.

III.5.3. PERIMETRE DE PROTECTION DE L'OUVRAGE DE CAPTAGE D'ANTSAMPANANA

➤ *Périmètre de protection immédiate*

Ce périmètre a une clôture en bois avec des petits canaux d'évacuation d'eau stagnante à l'intérieur.



Photo n° 2: Périmètre de protection immédiate de la source d'approvisionnement

➤ *Périmètre de protection rapprochée*

- A l'Est : habitation distant de 50m du puits
- Au Nord : la route nationale RN2
- Au sud : petite forêt
- A l'Ouest : des cultures et la rivière Sandranaty

Il est donc impossible d'installer un périmètre de protection rapprochée

III.6. DESCRIPTION DE L'OUVRAGE

III.6.1. SYSTEME DE POMPAGE

Les essais de pompage permettent d'évaluer les paramètres hydrauliques caractéristiques de la formation intéressée.

Il s'agit de pomper la nappe aquifère étudiée de façon permanente et avec un débit croissant. Le niveau d'eau de la nappe est suivi à l'aide d'un piézomètre à chaque variation de débit et à chaque intervalle de temps.

L'interprétation des données des essais de débits nous donne le débit spécifique d'un ouvrage : la Transmissivité de l'aquifère.

Le puits d'Antsampanana est équipé par pompe immergée pour 9m³/heure. Cette pompe est alimentée par un groupe électrogène de puissance 4 KVA avec disjoncteur qui est placé à 10m du puits.

La pompe aspire l'eau du puits vers le bassin de traitement situé environ à 2km de la station de pompage. Après traitement, l'eau est stockée dans le réservoir puis.

III.6.2. REVERSOIR DE STOCKAGE

Le réservoir d'Antsapanana est un ouvrage circulaire au sol de diamètre extérieur 5 m, en béton armé posé sur béton de propreté :

- Diamètre extérieur : 5m
- Hauteur intérieure de la paroi : 3,65m
- Epaisseur des parois : 0,15m
- Epaisseur du radier : 0,250m
- Epaisseur du couvercle : 0,10m
- Poutre : 0,20m×0,30m
- Capacité : 60m³

Pour l'entretien, le réservoir sera équipé d'une trappe de visite de dimension 0,80m × 0,80m. La conduite d'adduction et la conduite de vidange sont en PVC PN 10 DN 63, la conduite du départ de la distribution en PVC PN 10 DN 110, la vanne d'arrêt en PVC DN 63 et DN 110 (adduction, vidange, distribution, système de by pass).

Pour le système de traitement, on verse directement le chlore dans le réservoir pour flocculer le fer et le manganèse non retenu par le filtre et aussi pour la désinfection de l'eau.

Quantité de chlore utilisée : 8g/jour (4g avant pompage et 4g après pompage).



Photo n°3 : Réservoir de stockage

III.6.3.CONDUITE D'ADDUCTION ET DE DISTRIBUTION

Les conduites seront dimensionnées à l'aide du logiciel Epanet qui convient dans les conditions normales pour les conduites posées suivant les règles de l'art, transportant les eaux suffisamment filtrées pour ne pas créer ni des problèmes de dépôts ni de sédimentation.

Les diamètres seront choisis afin qu'on puisse assurer les transits des débits nécessaires aux bouts des réseaux. Cependant, l'utilisation des conduites disponibles prévues dans l'APS a été optimisée en premier lieu.

Située entre le captage et le réservoir, la conduite d'adduction assure le transit du débit pompé journalier nécessaire pendant 15 heures. Ainsi, la conduite d'adduction d'eau est donc calculée sur la base des hypothèses ci-dessus afin qu'elle puisse garantir le transit de débit de 3,18 l/sec. Quand aux conduites de distribution, elles sont dimensionnées pour tenir compte de la variation du débit au cours de la journée. De plus, elles doivent assurer le passage des débits de pointe quand tous les bouts des réseaux sont tous ouverts.

Pour la commodité des exploitants, la pression minimale admissible en bout du réseau sera de 5m d'eau. Elle ne doit pas dépasser 40m pour éviter le risque de fuites au niveau des raccords et d'éviter les désordres.

Ainsi, pour ce projet d'adduction, il est préférable de mettre en place un réseau maillé. Les conduites seront en tuyau semi rigide du type PEHD essentiellement pour faciliter la pose, mais aussi par souci d'économie.

Les conduites d'adduction seront donc en PEHD composées de :

- Tuyaux PEHD PN 16 DN 110 : 945m

Les conduites de distribution seront composées de :

- Tuyaux PEHD PN 16 DN 110 : 75m
- Tuyaux PVC PN 16 DN 75 : 383m
- Tuyaux PVC PN 16 DN 63 : 976m
- Tuyaux PEHD PN 12,5 DN 63 : 505m
- Tuyaux PEHD PN 10 DN 40 : 1 306m
- Tuyaux PEHD PN 10 DN 32 : 1 305m
- Tuyaux PEHD PN 10 DN 25 : 142m

III.6.4. KIOSQUE

Les kiosques à installer assurent les distributions de l'eau pour les publics. Ils ont les caractéristiques suivantes :

- Ouvrage équipé de 03 points de puisage munie de 03 robinets à ¼ de tour. 01 robinet vanne et un compteur d'eau.
- Ouvrage dont les murs et les ossatures sont en maçonnerie de brique.
- Ouvrage couvert avec de sol formé d'herissonage, de béton de forme de chape à surface bouchardées.
- Muni d'un regard pour la protection de la vanne d'arrêt

CHAPITRE IV: L'ETUDE QUALITATIVE DE L'EAU DE PUIITS

IV.1. NORME DE POTABILITE MALAGASY [13]

Toute eau destinée à l'alimentation humaine ne doit jamais être susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment.

Elle doit de plus, si possible, être agréable à consommer.

Elle doit présenter les caractères suivants :

➤ *Paramètres organoleptiques et physiques*

L'eau doit être si possible :

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

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

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

La conductivité: elle doit être mesurée dans le but de surveiller la pollution. Deux mesures doivent être faites par an au minimum :

2 fois par an au minimum en milieu rural (1 en saison sèche et 1 en saison humide)

Une fois par trimestre en milieu urbain

Une analyse doit être faite dès que les conditions locales changent (installation d'usine ou d'habitation à proximité). la conductivité est inférieure à 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 20°C

Le pH recommandé est compris entre 6,5 et 9

➤ *Paramètres chimiques*

L'eau doit contenir en quantité admissible un certain nombre d'éléments chimiques.

Il existe des éléments appelés « éléments normaux ».

Tableau 5 : paramètre chimique des éléments normaux

ELEMENTS	MINIMA	ADMISSIBLE MAXIMA
Calcium		200 mg/l
Magnésium		50
Chlorure		250 mg/l
Sulfate		250 mg/l
Oxygène dissous, % de saturation	75%	
Dureté		300 mg/l exprimée en CaCO ₃ 500

« Eléments anormaux » : Les variations de la teneur de ces éléments indiquent une pollution chimique. Une teneur supérieure au chiffre prescrit ci-dessous est d'origine anormale.

Tableau 6 : paramètre chimique des éléments anormaux

ELEMENTS	MAXIMA (mg/ l)
Matières organiques	2 (milieu alcalin) ; 5 (milieu acide)
Chlore libre	2 (Cl ₂)
Ammonium	0,5 (NH ₄ ⁻)
Nitrite	0,1 (NO ₂ ⁻)
Azote total	2 (N)
Manganèse	0,05 (Mn ²⁺)
Fer total	0.5 (Fe)
Phosphore	5 (P ₂ O ₅)
Zinc	5 (Zn ²⁺)
Argent	0,01 (Ag ⁺)
Cuivre	1 (Cu ²⁺)
Aluminium	0,2 (Al ³⁺)
Nitrates	50 (NO ₃ ⁻)
Fluor	1,5 (F)

« Eléments toxiques » : Une teneur supérieure au chiffre indiqué ci-dessous porte atteinte à la santé.

Tableau 7: paramètre chimique des éléments toxiques

Arsenic	0,05 mg /ℓ
Chrome total	0,05
Cyanure	0,05
Plomb	0,05 mg/ℓ
Nickel	0,05 mg/ℓ
PcB (polychloro-biphenyl)	0
Zinc	5 mg/ℓ
Cadmium	0,005 mg/ℓ
Mercuré	0,001
Barium	1 mg/ℓ

➤ **Paramètres bactériologiques**

L'eau livrée à la consommation humaine est une eau exempte de germes pathogènes et de germes indicateurs de pollution fécale à savoir :

- coliformes totaux **0 /100 ml**

- streptocoques fécaux 0 /100 ml
- coliformes thermo-tolérants (E. coli) 0 /100ml
- clostridium sulfito-réducteur < 2 /20ml
- Spores anaérobies sulfito-réductrices

IV.2. RESULTATS D'ANALYSE

IV.2.1.RESULTAT JIRAMA

Lors des essais de débit, le prélèvement d'eau analysé au laboratoire de la JIRAMA a donné les résultats ci après

JIRO SY RANO MALAGASY
B.P. 200 ANTANANARIVO

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

PROFORMA : 033/11

BULLETIN D'ANALYSE PHYSICO-CHEMIQUE N° 263 /10

PRELEVEMENT

Région : RN 2 ANTSAMPANANA
 Centre :
 Nature : Eau brute
 Type d'échantillon :

Date de prélèvement : 24-mars-11
 Date de réception : 25-mars-11
 Préleveur : ACTION & DEVELOPPEMENT
 Date d'analyse : 28-mars-11
 Usage : AEP

Paramètres	Examen au Laboratoire	V M A N.M.
Aspect	trouble	limpide
Odeur	absence	absence
Couleur	jaunâtre	incoloré
Température, en °C	20,9	25
Turbidité, en NTU	11,3	5
pH	6	6,5 - 9,0
Conductivité à 20°C en µs/cm	68,5	3000
Minéralisation, en mg/l	63	
MeS en mg/l		

Paramètres	Valeur	V M A N.M.
Dureté TH en °F	3.80	50
TH Ca, en °F	2.70	
Alcalinité TA, en °F	0.00	
TAC, en °F	3.10	
Chlore résiduel en mg/l		
M, O, mgO ₂ /l (alcalin)	0.20	2
(Acide)		5

Cations	mg/l	V M A N.M.
Calcium Ca ⁺⁺	10.80	
Magnésium Mg ⁺⁺	2.67	
Sodium Na ⁺	2.48	
Potassium K ⁺		12
Ammonium NH ₄ ⁺	0.33	0.5
Fer Fe ⁺⁺		0.5
Fer total Fe ⁺⁺ , Fe ⁺⁺⁺	0.05	0.5
Manganèse Mn ⁺⁺		0.05
Aluminium Al ⁺⁺⁺		0.2

Anions	mg/l	V M A N.M.
Carbonates CO ₃ ⁻	0.00	
Bicarbonates HCO ₃ ⁻	37.82	
Chlorures Cl ⁻	5.68	250
Sulfates SO ₄ ⁻	0.00	250
Nitrites NO ₂ ⁻	0.01	0.1
Nitrates NO ₃ ⁻	0.54	50
Phosphate PO ₄ ⁻		5
Fluorures F ⁻		1.5
Hydroxyde OH ⁻	0.00	

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

ANALYSES

OBSERVATIONS :

Eau non conforme à la norme.
 (cf. : Aspect, Couleur, Turbidité, pH)

30 mars 2011
 Antananarivo, le
 Le Chef de Laboratoire, *R.B.*
 Le Chef de Département Qualité Eau
M.M.
KABETOKOTANY Monique

➤ **Interprétation d'analyse**

L'eau a présenté une anomalie par rapport aux paramètres organoleptiques : la turbidité est supérieure à la normale ; 11,3 au lieu de 5 NTU.


Le pH est légèrement inférieur à la norme, l'eau est un peu acide.

L'eau est faiblement minéralisée parce que la conductivité est à 68.5µs/cm.

Les résultats n'ont pas permis d'identifier l'origine de la turbidité.

D'autre analyse étudiant les métaux lourds nous ont permis de détecter l'anomalie au niveau des paramètres chimiques.

IV.2.2. RESULTATS INSTN



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires Madagascar I.N.S.T.N.

"Le Nucléaire pour la Paix, la Protection de l'Environnement et le Développement Durable."

Directeur Général et Fondateur: **RACELINA ANDRIAMBOLOLONA**
Professeur Titulaire de classe exceptionnelle



Gold Certificate of GLOBAL QUALITY 2006
Centre de Marketing et de Management S.A., Genève, Suisse

Your Ref :
Our Ref : INSTN/DG/RAP/TFXE/12/02/13/ 06 Antananarivo, le 13 février 2011

RESULTATS D'ANALYSES

Client : **ONG GRET PROGRAMME MEDDEA**
Tél. et E-mail :
Adresse : **Lot IIA 119 Soavimbahoaka- Antananarivo 101**
Lieu de prélèvement :
Produits prélevés : **Eau potable, apportée dans un flacon en plastique.**
Nombre d'échantillons : **Un (01) échantillon de 1,5L. Code : 12006C01**
Date d'arrivée : **08 février 2012**
Prélèvement effectué par : **Le client lui-même**
Date de prélèvement : **07 février 2012 à 13h 05**
Echantillon apporté par : **M. RAJAONARISOA James**
Service demandé : **Analyse quantitative des métaux lourds par le spectromètre de fluorescence X à réflexion totale.**

1. Conclusion
L'échantillon d'eau analysé n'est pas conforme aux normes de potabilité des eaux de consommation fixées par l'OMS (1993) en matière de métaux lourds.

2. Résultats
Les résultats d'analyse sont reportés dans le tableau suivant.

Code de l'échantillon : 12006C01 (Eau potable)

Paramètres	Unité	Valeurs moyennes	Valeurs limites OMS	Observation	Technique utilisée
Manganèse (Mn)	µg.L ⁻¹	312,6 ± 6,5	50	non conforme	TXRF ⁽²⁾
Fer (Fe)	µg.L ⁻¹	< 20	300	satisfaisant	TXRF
Chrome (Cr)	µg.L ⁻¹	< 15	50	satisfaisant	TXRF
Nickel (Ni)	µg.L ⁻¹	< 10	20	satisfaisant	TXRF
Cuivre (Cu)	µg.L ⁻¹	78,2 ± 5,4	2 000	satisfaisant	TXRF
Zinc (Zn)	µg.L ⁻¹	104,5 ± 10,8	3 000	satisfaisant	TXRF
Plomb (Pb)	µg.L ⁻¹	< 7	10	satisfaisant	TXRF
Brome (Br)	µg.L ⁻¹	16,5 ± 1,7	VNF ⁽¹⁾		TXRF
Strontium (Sr)	µg.L ⁻¹	68,7 ± 0,4	VNF		TXRF
Arsenic (As)	µg.L ⁻¹	< 8	10	satisfaisant	TXRF

(1) VNF : Valeur Non Fixée
(2) TXRF : Fluorescence X à Réflexion Totale

Le Directeur Général,
p.o.



Dr. RAJAONARISON Joël
Directeur Général

Tel: (261 20) 24 714 03 (261 20) 22 355 84
E-mail: instn@moov.mg

B.P. 4279 101-Antananarivo - MADAGASCAR
E-mail: instn@moov.mg

Site web: <http://www.insta.gov.mg>

➤ **Interprétation de l'analyse d'INSTN**

L'eau a un taux de fer relativement élevé et un taux de manganèse très excessif par rapport aux normes de potabilité.

Pour rendre l'eau potable, un système de traitement doit être nécessaire pour éliminer le fer et le manganèse.

IV.3. ORIGINE DU FER ET DU MANGANESE DANS L'EAU [13]

Le fer est un des métaux les plus abondants de la croûte terrestre. Il est présent dans l'eau sous trois formes : le fer ferreux Fe^{2+} , le fer ferrique Fe^{3+} et le fer complexé à des matières organiques (acides humiques, fulviques, tanniques, ...) et minérales (silicates, phosphates, ...). Dans les eaux bien aérées, le fer ferreux est oxydé en fer ferrique qui précipite sous forme d'hydroxyde, $Fe(OH)_3$. Dans les eaux souterraines, au contraire, l'absence d'oxygène fait que le fer reste en solution.

La présence du fer dans l'eau provient principalement : du lessivage des sols, avec dissolution des roches et minerais, des rejets industriels, de la corrosion des canalisations métalliques, et de l'utilisation de sels ferriques comme coagulants.

Le manganèse est présent, en quantité moindre que le fer, dans les roches. Son origine dans l'eau provient essentiellement de la dissolution des roches, et d'éventuels rejets industriels.

IV.3.1. INCONVENIENTS DU FER ET DU MANGANESE [14]

Le fer est un oligoélément indispensable, à l'état de trace, à la santé humaine. Des concentrations en fer, même élevées, ne constituent pas de risques pour la santé humaine. Les nuisances liées à la présence de fer dans l'eau sont :

- la neutralisation d'une partie des désinfectants due à l'oxydation du fer ;
- la distribution d'une eau couleur rouille, esthétiquement peu engageante pour le consommateur, et qui peut tacher le linge et les sanitaires ;
- le goût "métallique" procuré à l'eau ;
- le risque de corrosion des canalisations dû au développement de micro-organismes (ferrobactéries).

Tout comme le fer, le manganèse ne présente pas de risques pour la santé humaine. Les inconvénients sont identiques à ceux du fer : problèmes organoleptiques (couleurs, goûts), taches sur le linge, et risque de développements bactériens.

IV.4. LE TRAITEMENT DES EAUX

Le traitement des eaux pour l'alimentation en eau potable peut être groupé sous deux types de procédés : les procédés physiques et physico-chimiques qui sont utilisés pour éliminer les éléments solides en suspension dans l'eau par décantation et filtration et pour transformer les éléments colloïdaux en flocons éliminables par filtration.

IV.4.1. PROCEDES PHYSIQUES

➤ *Décantation et filtration* [6]

La décantation a pour but d'éliminer par gravité les matières en suspension dans l'eau. La vitesse de décantation dépend du rayon des particules, de la masse volumique du solide, de la viscosité du liquide. La durée de la décantation varie selon la dimension du bassin, la nature de l'eau, la composition et la granulométrie des boues.

Le bassin-filtre est constitué d'un bassin revêtu d'une couche de sable filtrante, habituellement horizontale, mais le fond du bassin peut être incliné et comporter un point bas pour concentrer les eaux sur une plage d'infiltration unique au début de la mise en eau et pour faciliter la vidange.

L'épaisseur de la lame d'eau dans le bassin varie de quelques décimètres à plusieurs mètres. Le fond du bassin est généralement tapissé d'une couche de sable. Le diamètre efficace du sable est habituellement de 0.2 à 0.3 mm et le coefficient d'uniformité est voisin de 2. Le sable ne doit pas s'auto colmater par ségrégation des grains fins au bas de la couche sous l'effet de la pression d'écoulement.

La couche de sable est le support de l'épuration mécanique et biochimique. Elle fait écran entre les matières solides en suspension dans l'eau d'alimentation et le terrain, dont le colmatage doit être à tout prix évité. Les effets de l'autoépuration sont d'autant plus marqués que l'épaisseur de sable est plus grande, mais en pratique une couche de l'ordre de 0.5m est satisfaisante.

Cette couche, qui retient les matières solides, a tendance à s'encrasser et doit être soumise à un nettoyage ou à un renouvellement périodique. La durée de fonctionnement sans entretien est fonction de la qualité de l'eau injectée et des conditions météorologiques, qui influent notamment sur la croissance des algues.

En amont du bassin-filtre, l'eau subit toujours une décantation dans un bassin où la concentration en matières en suspension est environ de 10 mg/l.

L'eau est injectée dans les bassins sans aucun traitement chimique préalable, elle est distribuée après une simple chloration.

IV.4.2. PROCEDE CHIMIQUE

➤ Coagulation [6]

La coagulation a pour but de provoquer au sein de l'eau la formation d'un précipité colloïdale dont la floculation entraîne mécaniquement, électrostatiquement et chimiquement des fines particules en suspension dans l'eau.

Le mécanisme de la coagulation est très complexe et il est difficile de fixer a priori les conditions d'opération. En général la composition de l'eau, son PH, le degré de mûrissement des floculats sont les facteurs très importants.

Pour la coagulation, il faut produire des éléments coagulants tels que $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, et $\text{Ca}(\text{OH})_2$

L'hydroxyde d'aluminium $\text{Al}(\text{OH})_3$ se coagule seulement pour un $7.4 < \text{pH} < 8.5$

L'hydroxyde de fer $\text{Fe}(\text{OH})_2$ se coagule à $\text{pH} > 6$

L'hydroxyde de Calcium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se coagule par précipitation

Le sulfate d'alumine agit sur les carbonates qui se trouvent dans l'eau. Il faut que l'eau contienne une quantité suffisante de carbonates.

IV.4.3. LES TECHNIQUES DE TRAITEMENTS DES EAUX [6]

La filière classique de traitement des eaux comprend :

- La filtration rapide qui consiste à faire un mélange rapide (eau- floculant), une floculation, une décantation et une filtration,
- La stérilisation,
- La mise en équilibre de l'eau par sa neutralisation,

La filtration rapide est nécessaire pour l'élimination des matières en suspension présentes dans les eaux de surface. Elles sont d'origine minérale (argile d'érosion, minéraux précipités), d'origine organique (résultats des décompositions des végétaux, substances précipitées), ou d'origine bactériologique (bactéries, planctons). La floculation a pour effet de rassembler en flocons volumineux et demandables les particules devenues instables par ajout de produits chimiques. Le sulfate d'alumine est le floculant le plus utilisé à Madagascar.

Ces procédés physiques et physico-chimiques clarifient l'eau. Ils la débarrassent de la plupart des matières en suspension qu'elle contient. Cependant, l'eau clarifiée peut encore contenir

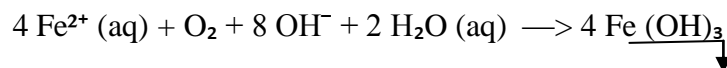
des éléments parfois pathogènes qui rendent l'eau impropre à la consommation en raison des maladies contagieuses qu'ils peuvent engendrer. Il est donc nécessaire de stériliser l'eau pour la rendre potable tout en la maintenant incolore, inodore, et sans saveur désagréable.

L'oxydation chimique est le moyen le plus sûr et le plus efficace pour stériliser l'eau. L'oxydation par l'ozone et l'oxydation par le chlore et ses dérivés sont les deux principaux procédés d'oxydation pratiqués actuellement. La stérilisation par chloration est la méthode utilisée à Madagascar. Son avantage est sa grande efficacité à faible dose et sa facilité d'emploi. Les composés chlorés les plus utilisés sont l'hypochlorite de calcium et l'hypochlorite de sodium.

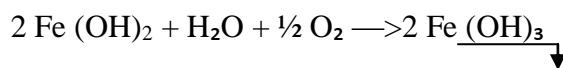
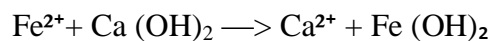
Quelques fois, bien que l'eau soit claire, elle peut contenir des sels dissous qui la rendent dure (teneur en Ca^{2+} élevée) ou peut occasionner la prolifération de micro-organismes dans les réseaux de distribution (présence de fer). Pour éliminer partiellement ou totalement les ions Ca^{2+} ou quelquefois l'ion manganèse, on utilise l'adoucissement par la chaux $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ou par la soude caustique $\text{Na}(\text{OH})$. Pour une ferrugineuse, on pratique la déferrisation par une oxyde de fer, précipitation et filtration.

IV.4.3. REACTIONS CHIMIQUES

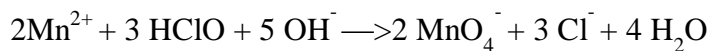
✓ *Réaction chimique d'élimination du fer par aération*



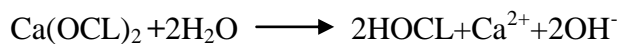
✓ *Réaction chimique d'élimination du fer par la chaux*



✓ *Réaction chimique du manganèse avec le chlore*



✓ *Reaction de l'hypochlorite de calcium*



IV.4.4. TECHNIQUE DE TRAITEMENT DE L'EAU D'ANTSAMPANANA

La technique de traitement d'Antsampanana est faite dans deux bassins.



Photo n°4 : Bassin de traitement

➤ ***Premier bassin***

Le premier bassin est pour le traitement chimique. L'eau aspirée par la pompe est refoulée au premier bassin qui a des dimensions respectives de 1,5m de profondeur, 2,10m de longueur et 1,5m de largeur. C'est dans ce bassin que l'on ajoute la chaux avec l'aération pour faciliter l'oxydation du fer et du manganèse.

Quantité de chaux utilisée : 16kg/j pendant 8 heures de pompage. On dissout ce 16kg de chaux dans 200ℓ d'eau dans une cuve et on règle le débit à 2ml/15sec. L'agitation de la chaux se fait manuellement tous les 15 mn pendant le pompage.

L'eau du premier bassin va au deuxième bassin par système gravitaire.



Photo n°5 : Bassin de traitement chimique



Photo n°6 : Petite cuve de dosage de la chaux

➤ *Deuxième bassin*

Le deuxième bassin sert à la filtration. Le système de filtre utilisé est le sable. Ce bassin a des dimensions respectives de 1,5m de profondeur, 2,10m de longueur et 1,5m de largeur, et au milieu il y a un trou de 1m³ rempli d'une tonne de sable.

Ce filtre a pour rôle de retenir les floccs de fer et de manganèse formés par le réactif versé dans le premier bassin. Enfin l'eau filtrée passe dans le réservoir de stockage.



Photo n°7 : Bassin de filtration



Photo n°8 : Floccs de ferromanganèse

IV.5. ANALYSE DE L'EAU APRES TRAITEMENT

IV.5.1. METHODE DE PRELEVEMENT

Les échantillons prélevés pour les analyses physico-chimiques au laboratoire de la JIRAMA sont mis dans deux bouteilles de 1,5ℓ en plastique, l'une pour l'eau brute et l'autre pour l'eau traitée, dans un délai n'excédant pas 24 heures.

IV.5.2. LES PARAMETRES DETERMINES ET LES MATERIELS UTILISES :

Tableau 8 : Paramètres déterminés et les matériels utilisés

Paramètres	Unités	Matériels utilisés
PHYSIQUES :		
Température	°C	Conductivity meter LF 538
Conductivité	µS/cm	Conductivity meter LF 538
pH		Ionomètre
Turbidité	NTU	Turbidimeter 2100P
SUBSTANCES INDESIRABLES		
Ammonium	mg/l	Spectrophotomètre
Nitrite	mg/l	spectrophotomètre
Nitrate	mg/l	Spectrophotomètre
Fer	mg/l	
Matières organiques	mg/l	
PARAMETRES CHIMIQUES :		
Calcium	mg/l	Kits de dosage
Chlorure	mg/l	
Magnésium	mg/l	
Sulfate	mg/l	
Dureté totale	°F	
Dureté calcique	°F	
TA	°F	
TAC	°F	
Manganèse	mg/l	
Carbonate	mg/l	
Bicarbonate	mg/l	
Sodium	mg/l	

IV.5.3. RESULTATS DES ANALYSES ET INTERPRETATION

➤ *Résultats des analyses physico-chimiques*

Les résultats des analyses physico-chimiques et chimiques sont présentés dans le tableau.

Les chiffres dans la case colorée en jaune sont les valeurs qui ne respectent pas les normes malgaches pour la potabilité de l'eau.

Tableau 9 : Résultat d'analyse physico-chimique effectué au Jirama

RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUE				
N° BULLETIN	UNITE	EAU BRUTE	EAU TRAITEE	NORMES M.
Temperature	°C	18,8	19,8	<25
Turbidité	NTU	10	5,22	<5
pH		7,43	6,34	6,5 à 9
Conductivité	µS/cm	54,6	99,4	<3000
Minéralisation totale	mg/l	50	92	
Dureté totale	°F	4,70	11,80	<50
Dureté calcique	°F	1,20	4,00	
TA	°F	0,00	0,00	
TAC	°F	2,80	4,90	
Matières Organiques	mg/l	1,00	0,60	<20
Calcium	mg/l	4,80	16,00	
Magnésium	mg/l	8,51	18,95	
Sodium	mg/l	3,45	7,36	
Ammonium	mg/l	0,18	0,16	<0,5
Fer total	mg/l	2,00	0,25	<0,5
Carbonates	mg/l	0,00	0,00	
Bicarbonate	mg/l	34,16	59,78	
Chlorures	mg/l	5,32	11,36	<250
Sulfates	mg/l	0,000	0,000	<250
Nitrites	mg/l	0,000	0,000	<0,1
Nitrates	mg/l	1,151	1,420	<50

Les normes malgaches exigent que la valeur :

- de la turbidité est 5NTU. Le résultat d'analyse 5.22NTU indique une valeur légèrement supérieure à la valeur recommandée.
- du pH est entre 6,5 - 8,5. Pour le cas d'Antsampanana, les échantillons d'eau ont un pH inférieur à 6,5.

Remarque :

Si on compare les résultats d'analyse que nous avons fait au laboratoire de la JIRAMA à Antananarivo à l'analyse précédente faite par la JIRAMA elle-même, il est remarqué que l'installation du bassin de traitement a des résultats positifs sur l'amélioration de la qualité de l'eau : auparavant la turbidité était de 11,3NTU, et maintenant elle est 5,22NTU ; le pH est actuellement 6,34.

CHAPITRE V :
MESURE A PRENDRE ET
AMELIORATION

V.1. AU NIVEAU DU PERIMETRE DE PROTECTION

- Améliorer le périmètre de protection immédiate : changement de la clôture en barreau de bois en briques ou moellons.
- Sensibiliser les gens qui cultivent aux alentours du périmètre de protection de ne pas utiliser des engrais chimiques ou de déféquer à l'air libre.

V.2. AU NIVEAU DU BASSIN DE TRAITEMENT

- Régulariser le taux de la chaux.
- Utiliser un mélangeur de chaux et de l'eau au premier bassin (solaire ou éolien) pour un bon mélange.
- Respecter le temps de lavage du bassin de traitement pour éviter l'excès des flocs de ferromanganèses.
- Augmenté la hauteur du tuyau de conduite d'eau du première bassin vers le bassin de filtration

V.3. AU NIVEAU DU RESERVOIRE DE STOCKAGE

- Régularisez le temps de lavage du réservoir de stockage et sa stérilisation.
- Utiliser un stérilisateur du chlore.
- Augmentez le taux du chlore au réservoir de stockage.

CONCLUSION GENERALE

Les résultats de cette étude sur la qualité de l'eau à Antsampanana aboutissent aux conclusions suivantes :

Dans le domaine de l'eau potable le problème qu'on rencontre fréquemment dans la région Est de Madagascar est la qualité de l'eau. La présence du fer et du manganèse dans les eaux souterraines nécessitent un traitement particulier. Pour le cas d'Antsampanana, les résultats d'analyse ont bien montrés que le taux du fer et du manganèse, sont relativement haut c'est la cause de la couleur rougeâtre de l'eau distribuée. Pour l'élimination de ces deux éléments chimiques, l'injection de la chaux vive dans le bassin de décantation entraine la baisse du pH de l'eau de puits qui favorise la précipitation du fer en $2 \text{Fe}(\text{OH})_3$, après filtration l'eau a reçu du chlore pour éliminer le manganèse sous forme de 2MnO_4^- .

Le bassin de traitement est mis en place pour mettre en œuvre le traitement : le filtre à sable est utilisé pour retenir les précipités, le chlore a pour rôle d'éliminer le manganèse et stériliser l'eau.

Or la comparaison du taux de nitrate de l'eau de puits est 1,151 mg/l et celle de l'eau traitée 1,420 mg/l celle ci, a montré que des pollutions biologique se manifestent au niveau du bassin de traitement ou au niveau des bornes fontaines.il est donc recommandé de bien nettoyer les alentours du bassin du traitement et des points d'eau.

La recommandation générale est l'amélioration du périmètre de protection de l'ouvrage de captage et la sécurisation de la propriété au niveau du bassin de traitement, du réservoir et du point d'eau.

Enfin, il est nécessaire de lancer un programme de sensibilisation sur la protection des infrastructures et le respect de la propriété aux alentours des ouvrages installés. L'objectif est de susciter des attitudes et des comportements favorables à la préservation de l'eau depuis la source d'approvisionnement jusqu'à la consommation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Et WEBIOGRAPHIQUES

- [1] www.PNUD-mada 2012.mg
- [2] Afriquinfo.com//2012/mada/-subject-lacces.population
- [3] comons.wikimedia.org
- [4] <http://www.mddep.goov.qc.ca/eau/sousterraines/forage/index.htm>
- [5] Montpellier 2011.mon.Univ-mopt.fr
- [6] RAZANAMIHAJA, Cours hydrologie ,2012
- [7] CHAUMET Fleur, Puits privés en milieu agricole-Elément d'analyse et gestion des risques sanitaires, 2005,99p
- [8] www.toupie.org
- [9] www.fr.wikipedia.org/wiki/nappe-alluvial
- [10] Randriatsiferana Simon Robinson, Cours de Technique de Puits et Forage, 2011, p8
- [11] Marie Guillaume-Honoré Randianantoandro-Tony Razanajatovo-Lauran Jouaux, Guide et pratique de mise en œuvre, collection GRET, Juin 2005, p 96
- [12] Ministère de l'Energie et des Mines

Décret N°2003-940 relatif aux périmètres de protection-

Décret N°2003-941 relatif à la surveillance de l'eau au contrôle des eaux destinées à la consommation humaine et aux priorités d'accès à la ressource en eau ,2003
- [13] www.dynavive.ev/DocuPDF/Elimination ferManganese.pdf
- [14] Eau.cine-et-marme.fr/Library/AEP4
- [15] <http://www.oieau.fr/REFF1/fiche/capt eau/1puits moderns.htm>