



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

FACULTE DES SCIENCES

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Mention : CHIMIE

Département : CHIMIE MINERALE ET CHIMIE PHYSIQUE

Parcours : GENIE DE L'EAU ET GENIE DE L'ENVIRONNEMENT

Mémoire en vue d'obtention du diplôme de Master II en Chimie

Intitulé

**ETUDES DE LA VULNERABILITE DES
EAUX DE Puits DANS LA COMMUNE
URBAINE AMBATOLAMPY**

Présenté par : LAHATRA Andrianjafimanana

**Soutenu publiquement à la Faculté des Sciences de l'université d'Antananarivo
le 23 Juillet 2015 devant la commission d'examen composée du :**

**Présidente : Madame Laurence RAHARIMALALA, Professeur Titulaire à la
Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo**

**Examineurs : Monsieur Mahandrimanana ANDRIANAINARIVELO, Maître de
Conférences**

**Monsieur Pierre Hervé RAVELONANDRO, Professeur à la Faculté
des Sciences de l'Université d'Antananarivo**

**Rapporteur : Docteur MONG Yves Jean Michel, Maître de Recherches au
laboratoire du Centre National de Recherches sur l'Environnement**

REMERCIEMENTS

Avant d'entamer tout développement sur ce travail de recherche, il est opportun de commencer par les remerciements.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance :

- Au **Seigneur Dieu**, qui nous a donné la force d'y parvenir ;
- A la Faculté des Sciences et aux sociétés (CNRE et JIRAMA), qui nous ont aidés tout au long du stage et de la collecte des données ;
- Au **Docteur MONG Yves Jean Michel**, Maître de Recherches au sein du Laboratoire du Centre National de Recherches sur l'Environnement, notre encadreur pédagogique et technique, qui nous a guidé tout au long du travail de recherche ;
- A **Madame Laurence RAHARIMALALA**, Professeur Titulaire à la Faculté des Sciences, qui a accepté d'être la présidente du jury de ce mémoire;
- A **Monsieur RAVELONANDRO Pierre Hervé**, Professeur au sein de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo, Responsable du Master en Chimie, parcours Génie de l'Eau et Génie de l'Environnement, qui a accepté d'examiner ce travail et de siéger parmi le jury ;
- A **Monsieur Mahandrimanana ANDRIANAINARIVELO**, Maître de Conférences, Responsable du Master en Chimie, parcours Chimie des Matériaux, qui a accepté d'examiner ce travail et de siéger parmi le jury ;
- A toute ma famille et mes amis, qui nous ont encouragés tout au long du travail ;
- A tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS

ACRONYMES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES ANNEXES

INTRODUCTION GENERALE01

Partie I : REVUES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : GENERALITES

I – 1/ GENERALITES SUR L’EAU02

I – 1 – 1/ Les propriétés physico-chimiques de l’eau.....02

I – 1 – 2/ Le cycle de l’eau02

I – 1 – 3/Etudes des paramètres de l’eau03

I – 1 – 4/ Les normes sur la qualité de l’eau.....06

I – 2/ GENERALITES SUR LE PUIT.....09

I – 2 – 1/ Définition.....09

I – 2 – 2/ Les différents types de puits09

I – 2 – 3/ Le système de protection d’un puits.....10

I – 3/ POLLUTIONS DES EAUX DE PUIT.....12

I – 3 – 1/ Définitions12

I – 3 – 2/ Répartitions spatio-temporelle des pollutions.....12

I – 3 – 3/ Les principaux types des contaminants14

I – 3 – 4/ Les caractéristiques physico-chimiques des contaminants.....15

Partie II: ETUDES EXPERIMENTALES

Chapitre II: METHODOLOGIES

II – 1/ PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE18

II – 1 – 1/ Localisation de la CUA18

II – 1 – 2/ Description géographique.....19

II – 1 – 3/ Choix du site de prélèvement.....20

II – 2/ ANALYSES DE LA QUALITE DES EAUX DE PUIT23

II – 2 – 1/ Prélèvement des échantillons d'eau.....	24
II – 2 – 2/ Analyse des paramètres physico-chimiques.....	24
II – 2 – 3/ Analyse bactériologiques.....	26
II – 3 / EVALUATION DES RISQUES DE CONTAMINATION DES EAUX DE PUIITS	27
II – 4/ METHODE D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE.....	28

Chapitre III: RESULTATS ET DISCUSSIONS

III – 1/ RESULTATS ET DISCUSSIONS	30
III – 1 – 1/ Analyses physico-chimiques.....	30
III – 1 – 2/ Analyses bactériologiques.....	39
III – 1 – 3/ Evaluation des risques de contaminations.....	41
III – 1 - 4/ Evaluation de la vulnérabilité	43

CONCLUSION ET RECOMMANDATION

ACRONYMES

°C : Degré Celsius

% : Pourcentage

μS : microsiemens

μg : microgramme

CUA : Commune Urbaine d'Ambatolampy

cm : Centimètre

CNRE : Centre National de Recherches sur l'Environnement

JIRAMA : Jiro sy Rano Malagasy

LMD : Limite de Détection

méq : milliequivalent

NTU : Nephelometric Turbidity Units

pH : potentiel d'Hydrogène

UFC : Unité Formatrice des Colonies

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Le cycle de l'eau	03
Figure 2. Schéma du puits protégé	11
Figure 3. Localisation de la Commune Urbaine d'Ambatolampy	18
Figure 4. Photo de puits P1	21
Figure 5. Photo de puits P2	21
Figure 6. Photo de puits P3	21
Figure 7. Photo de puits P4	21
Figure 8. Photo de puits p5	21
Figure 9. Photo de puits P6	21
Figure 10. Photo de puits P7	21
Figure 11. Photo de puits P8	21
Figure 12. Valeurs du pH des eaux de puits	31
Figure 13. Les conductivités des eaux de puits	31
Figure 14. Les turbidités des eaux de puits	32
Figure 15. Teneur en oxygène dissous des eaux	33
Figure 16. Teneur en nitrate des eaux de puits	33
Figure 17. Teneur en nitrite des eaux de puits	34
Figure 18. Teneur en ion chlorure des eaux de puits	35
Figure 19. Teneur en sulfate des eaux de puits	36
Figure 20. Teneur en phosphate des eaux de puits	36
Figure 21. Teneur en matière organique	37
Figure 22. Titre alcalimétrie simple (TA) et Titre alcalimétrie complet (TAC)	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Les propriétés de l'eau.....	02
Tableau 2. Les paramètres physico-chimiques de l'eau.....	05
Tableau 3. Extrait des normes de la qualité de l'eau destinée à la consommation pour l'OMS...	07
Tableau 4. Norme de potabilité malgache pour l'eau de boisson.....	08
Tableau 5. Les distances minimales entre les sources de contamination et le puits.....	10
Tableau 6. Conséquences des propriétés intrinsèques des polluants sur leur comportement	16
Tableau7. Description des états des puits	22
Tableau8. Description de l'environnement et usage des puits.....	23
Tableau 9. L'évaluation de la potentialité des risques.....	28
Tableau 10. Extraits des normes de potabilités selon l'OMS et celles utilisés à Madagascar	30
Tableau 11. Résultats des analyses des métaux lourds.....	38
Tableau 12. Résultats des analyses bactériologiques des eaux de puits	39
Tableau 13. Zone de combinaison d'inspection des risques de contamination des puits et leur niveau de contamination par les coliformes fécaux.....	42
Tableau 14. Classification des nombres des coliformes fécaux pour l'approvisionnement en eau	42
Tableau 15. Les différentes sources des matières fécales des puits.....	43

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1. Protocoles d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de puits
- Annexe 2. Protocole d'analyse des paramètres bactériologiques des eaux de puits
- Annexe 3. Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de puits
- Annexe 4. Tableau de conversion de la concentration de l'oxygène dissous (mg/L) en pourcentage de saturation
- Annexe 5. Carte hydrogéologique de Madagascar
- Annexe 6. Formulaire d'inspection sanitaire : puits creusé ouvert
- Annexe 7. Carte géologique de Madagascar

INTRODUCTION GENERALE

L'eau est une ressource naturelle vitale chez les êtres vivants. Pour certains pays, elle est indispensable pour le développement socio-économique réel et durable. L'avoir à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé. Dans le pays en voie de développement, l'accès en eau potable et à l'assainissement sont un défi quotidien. Cette difficulté est due par l'insuffisance des ouvrages améliorés pour l'approvisionnement en eau potable et pour l'assainissement.

A Madagascar, ce problème se pose puisque l'UNICEF affirma en 2013 que plus de la moitié (52%) de la population malgache n'a pas accès à l'eau potable et seulement 14% ont accès aux infrastructures d'assainissement adéquates. Ce problème est très sérieux surtout dans la partie sud de Madagascar.

Pour le cas de la commune urbaine Ambatolampy, elle n'échappe pas à cette difficulté, étant donné que l'approvisionnement en eau de la société JIRAMA est le seul système de distribution d'eau potable dans cette commune. D'autre part, l'accès de la population à ce système de distribution est très insuffisant du fait que seulement 1046 ménages parmi les 26150 habitants de la ville y ont accès, c'est à dire 4% de la population [13].

Ce faible taux d'accès est du à l'insuffisance des matériels d'installation (ex : compteurs) et au coût d'installation des ouvrages de distribution d'eau, qui est loin d'être accessible au pouvoir d'achat de la population. Par conséquent, bon nombre de ménages utilisent d'autres ressources telles que les puits comme source d'eau. Pour mieux connaître les conditions d'accès à ce type de ressource, nous avons choisi le thème intitulé : « **ETUDES DE LA VULNERABILITE DES EAUX DE PUIITS DANS LA COMMUNE URBAINE AMBATOLAMPY** ».

La présente étude a donc pour objectif d'avoir une meilleure connaissance sur les risques potentiels de contaminations et les facteurs de vulnérabilité des eaux de puits. Ce travail comporte deux parties :

- La première partie est basée sur la collecte des données permettant de prendre la connaissance de la situation ainsi qu'à la description de l'étude
- La deuxième partie concerne les méthodologies, les résultats d'analyses effectuées et leurs interprétations.

Première partie

REVUES BIBLIOGRAPHIQUES

Chapitre I : GENERALITES

I – 1/ GENERALITES SUR L'EAU

I – 1 – 1/ Les propriétés physico-chimiques de l'eau

Parmi les différentes ressources existantes au monde, l'eau est la plus intéressante parce qu'elle a des propriétés physico-chimiques très particulières. Ces propriétés sont présentées dans le tableau 1 ci-dessous [16].

Tableau 1. Les propriétés de l'eau

Propriétés	Significations
Un liquide mobile	L'eau est un corps continu, sans rigidité, qui coule facilement, remplit tous les interstices, puis s'étale en surface
Un formidable solvant	capable de dissoudre presque n'importe quel substrat
Un constant diélectrique élevé	Explique la dissociation en ions des substances dissous dans l'eau
Une chaleur spécifique élevée	C'est la quantité d'énergie nécessaire pour élever la température de l'eau à 1°C, cela revient à dire que l'eau est difficile à chauffer
Une chaleur latente de fusion et de vaporisation élevée	Elles représentent les quantités de chaleur qu'il faut fournir soit pour fondre de la glace, soit pour produire de la vapeur d'eau

I – 1 – 2/ Le cycle de l'eau

Dans la planète terre, l'eau se repartie dans des différents réservoirs, tels que les océans, les calottes polaires et glaciers, les nappes d'eau souterraine, les eaux de surface, les lacs salés et mers intérieures, l'humidité du sol, et l'atmosphère. Le constant mouvement de l'eau entre ces différents réservoirs représente « le cycle de l'eau » ou « cycle hydrologique ».

Dans ce cycle, l'eau peut changer sous ses trois formes (solide, liquide et gaz). Le soleil est le moteur de ce cycle puisque l'énergie solaire permet une évaporation intense sur les surfaces des océans et à moindre niveau à la surface des continents. Une partie des océans remonte vers l'atmosphère sous formes gazeux, et lors de son contact au froid, elle se condense et forme des nuages. Avec le vent, ce dernier se déplacent et se précipitent lors de leur passage dans une région froid. Sous l'action de la gravité terrestre, l'eau retombe sur terre sous forme de pluie, neige ou grêle. Une partie de l'eau de cette précipitation remonte plus ou moins rapidement dans l'atmosphère, soit s'évaporant directement, soit du fait de la transpiration des végétaux. Une autre partie, en ruisselant sur le sol, rejoint assez vite les rivières et les fleuves et se déverse dans la mer. Quant au reste, elle s'infiltre dans le sol, et est stockée en partie dans des nappes afin de retourner à la mer, grâce au biais des cours d'eau que ces nappes alimentent [1].

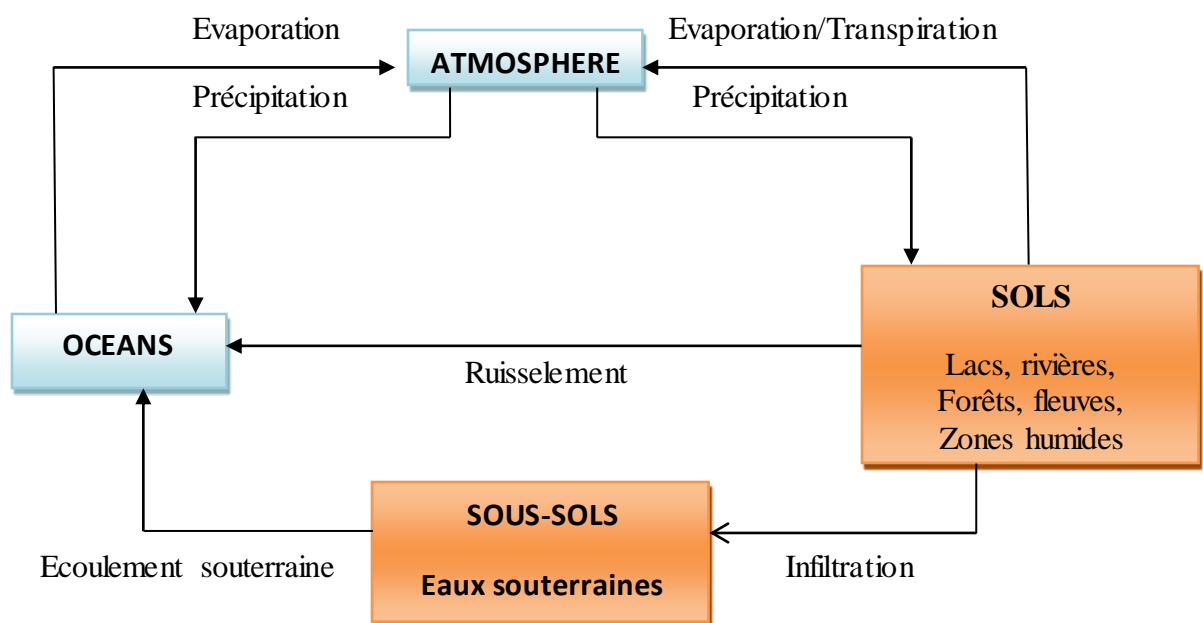


Figure 1.Le cycle de l'eau

I – 1 – 3/ Etudes des paramètres de l'eau

Les paramètres de l'eau se divisent en trois grandes catégories : les paramètres organoleptiques, les paramètres physico-chimiques et les paramètres bactériologiques.

I – 1 – 3 – 1/ Les paramètres organoleptiques

Ce sont des paramètres, telle que la couleur, les odeurs et le goût de l'eau, considérés comme référence de la qualité de l'eau destinée à l'alimentation. Ils peuvent être fournir des indications sur la présence des contaminants dans l'eau.

a) La couleur

La couleur de l'eau peut être due à certaines substances minérales ou organiques dissoutes ou non dans celui-ci. Elle est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances dissoutes, c'est-à-dire passant à travers un filtre de porosité égale à $0,45\ \mu\text{m}$. Par contre, elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelle et apparente sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité [3].

b) L'odeur

Elle est définie comme l'ensemble des sensations aperçues par l'organe olfactif en flairant certaines substances volatiles. Elle provient soit des produits chimiques, soit des matières organiques en décomposition, soit d'organismes aquatiques existant dans l'eau [3].

c) Le goût

C'est un ensemble des sensations gustatives, olfactives et de sensibilité chimique commune perçue lorsque l'aliment ou la boisson est dans la bouche. Elle provient soit des produits chimiques, soit des matières organiques en décomposition présent dans l'eau [3].

I – 1 – 3 – 2/ Les paramètres physico-chimiques

Les paramètres dans le tableau 2 suivant représentent les caractéristiques physique et chimique de l'eau :

Tableau 2. Les paramètres physico-chimiques de l'eau

Paramètres	Explications
Conductivité	<p>Elle est la mesure de la capacité d'une eau à conduire un courant électrique. Sa mesure permet d'évaluer rapidement, mais très approximativement la minéralisation globale de l'eau [3]. La relation existant entre la minéralisation et la conductivité est le suivant :</p> <p style="text-align: center;">conductivité < 100 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation très faible ;</p> <p>100 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 200 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation faible ;</p> <p>200 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 333 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation moyenne ;</p> <p>333 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 666 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation moyenne accentuée</p> <p>666 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité < 1 000 $\mu\text{S/cm}$: minéralisation importante ;</p> <p>1 000 $\mu\text{S/cm}$ < conductivité : minéralisation élevée.</p>
Température	C'est un paramètre de confort pour les utilisateurs. Elle permet de corriger les autres paramètres d'analyse dont les valeurs sont liées à elle, telle que la conductivité, vitesse des réactions chimiques, etc. [2]
pH	Le pH de l'eau représente la concentration en ions hydronium H_3O^+ provenant de la dissociation des molécules d'eau en proton H^+ . Il est utilisé pour exprimer le degré d'ionisation de l'eau. Il indique le caractère basique ($\text{pH} > 7$), acide ($\text{pH} < 7$) et neutre ($\text{pH} = 7$) de l'eau [19].
Dureté : titre hydrotimétrique	Elle correspond à la somme des concentrations en cations métalliques à l'exception de ceux des métaux alcalins et de l'ion hydrogène. Dans la plupart des cas, la dureté est surtout due aux ions calcium et magnésium. Elle s'exprime en milliéquivalent de concentration en CaCO_3 [3].
Turbidité	Elle représente la transparence de l'eau. Cette transparence peut être affectée par la présence de particules en suspension et de matières colloïdales dans l'eau (argiles, micro-organismes...). La turbidité est un paramètre important dans les différentes normes fixant la qualité des eaux potables [17].
Alcalinité	Elle correspond à la présence des bases et des sels d'acides faibles dans l'eau. Dans les eaux naturelles, l'alcalinité résulte le plus généralement à la présence d'hydrogencarbonates, carbonates et hydroxydes [3].
Les ions majeurs	La qualité de l'eau est assurée par une balance entre la concentration des cations et celle des anions dans l'eau. Les ions majeurs dans l'eau sont constitués par des cations (calcium, magnésium, sodium, potassium) et des anions (chlorure, les sulfates, les bicarbonates).
Oxygène dissous	C'est la concentration des oxygènes gazeux qui se trouve à l'état dissous dans l'eau [19].

I – 1 – 3 – 3/ Paramètres bactériologiques

Les paramètres bactériologiques sont des indications sur la probable contamination de l'eau par les microorganismes. Les bactéries peuvent être utilisées comme bioindicateurs de pollution. En termes de potabilité de l'eau, on peut distinguer les groupes suivants: les coliformes fécaux ou thermotolérants, les coliformes totaux et les bactéries pathogènes telles que les streptocoques fécaux [19].

a) Coliformes totaux

Les coliformes totaux sont des bactéries ayant une forme de bâtonnet, une condition de vie aérobie ou anaérobies facultative. Elles sont non sporulées et possédant l'enzyme β -galactosidase permettant l'hydrolyse du lactose à 35 °C afin de produire des colonies rouges avec reflet métallique sur un milieu gélosé approprié.

b) Coliformes fécaux

Les coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants sont un sous-groupe des coliformes totaux, elles ont une forme de bâtonnet, et avoir une condition de vie anaérobie facultative. Elles sont aussi non sporulées et capables de fermenter le lactose à une température de 44,5 °C afin de produire des colonies jaune à jaune orangé en moins de 24 heures [4].

c) Streptocoques fécaux

Les streptocoques fécaux sont des bactéries ayant une forme sphérique ou ovoïde formant des chainettes non sporulées, à gram positif, catalase négative, et possédant l'antigène D. Elles sont cultivées en anaérobiose à 37°C à fin de produire des colonies violets.

I – 1 – 4/ Les normes sur la qualité de l'eau

L'eau est dite potable si elle ne présente aucun risque pour la santé, lorsqu'on l'est bue de façon permanente. La qualité de l'eau de boisson est un problème de santé universel. Elle est indispensable à la vie, mais elle peut aussi transmettre et transmet des maladies graves. Donc, c'est pour cette raison qu'on établie des normes sur la qualité de l'eau pour fixer les quantités maximales tolérables de certaines substances indésirables ou toxiques pour la santé humaine.

I – 1 – 4 – 1/ Recommandations de l'OMS

Selon la norme recommandée par l'organisation mondiale de la santé (OMS), les paramètres de l'eau se divisent en cinq grandes catégories qui sont représentées dans le tableau 3 ci-dessous.

Tableau 3. Extrait des normes de la qualité de l'eau destinée à la consommation pour l'OMS

PARAMETRES		LIMITE ACCEPTABLE	UNITES
Paramètre Microbiologiques	Coliformes totaux	0	UFC/100mL
	Entérocoques	0	UFC/100mL
	Streptocoques fécaux	0	UFC/100mL
	Coliformes thermotolérants	0	UFC/100mL
	Escherichia coli	0	UFC/100mL
Paramètres d'esthétique	Couleur	15	mg.L ⁻¹ (Pt-Co)
	Turbidité	5	NTU
	Température	25	°C
	pH	6,5 à 8,5	-
	Odeur	Absence	-
Paramètres Inorganiques	Chlorures	250	mg.L ⁻¹
	Sulfates	250	mg.L ⁻¹
	Magnésium	-	mg.L ⁻¹
	Sodium	200	mg.L ⁻¹
	Calcium	400	mg.L ⁻¹
	Potassium	-	mg.L ⁻¹
	Aluminium	0,2	mg.L ⁻¹
	Nitrates	44	mg.L ⁻¹
	Nitrites	-	mg.L ⁻¹
	Ammonium	300	mg.L ⁻¹
Paramètres Organiques	Monochlorobenzene	20	µg.L ⁻¹
	Trichlorobenzene	20	µg.L ⁻¹
	Dichlorométhane	5	µg.L ⁻¹
	Chlorure de vinyle	0,5	µg.L ⁻¹
	Acrylamide	0,5	µg.L ⁻¹
	Styrène	20	µg.L ⁻¹
Paramètres Radioactifs	Alpha global	0,1	Becquerel.L ⁻¹
	Radium 226/228	-	pico Curie.L ⁻¹
	Uranium	-	pico Curie.L ⁻¹
	Radon	-	µg.L ⁻¹
	Beta global	1	Becquerel.L ⁻¹

Source : OMS Directives de qualité pour l'eau de boisson, 1994

(Pt-Co): platine et Cobalt, élément majeur responsable de couleur de l'eau

I – 1 – 4 – 2/ Recommandation de l'Etat malgache

L'Etat malgache a regroupé les normes de référence applicables à l'eau de consommation en quatre grandes catégories suivant le décret n°2004-635 du 15 Juin 2004 [13].

Tableau4. Norme de potabilité malgache pour l'eau de boisson

PARAMETRES ORGANOLEPTIQUES	NORME		
Odeur	Absence		
Couleur	Incolore		
Saveur désagréable	Absence		
PARAMETRES PHYSIQUES	UNITE	NORME	
Température	°C	< 25	
Turbidité	NTU	< 5	
Conductivité	µS/cm	< 3000	
pH		6.5 – 9,0	
PARAMETRES CHIMIQUES	NORME		
Eléments normaux	UNITE	MINIMA	MAXIMA
Calcium	mg/L		200
Magnésium	mg/L		50
Chlorure	mg/L		250
Sulfate	mg/L		250
Phosphate	mg/L		0,5
Oxygènedissous (% de saturation)	%	75	
Dureté TH	mg/L en CaCO3		500
Eléments indésirables	UNITE	MINIMA	MAXIMA
Matièresorganiques	mg/L		2 (milieu Alcalin)
			5 (milieu Acide)
Ammonium	mg/L		0,5
Nitrite	mg/L		0,1
Azote total	mg/L		2
Manganèse	mg/L		0,05
Fer total	mg/L		0,5
Phosphore	mg/L		5
Zinc	mg/L		5
Argent	mg/L		0,01
Cuivre	mg/L		1
Aluminium	mg/L		0,2
Nitrate	mg/L		50
Fluore	mg/L		1,5
Baryum	mg/L		1
Eléments toxiques	UNITE	MINIMA	MAXIMA
Arsenic	mg/L		0,05

Chrome total	mg/L		0,05
Cyanure	mg/L		0,05
Plomb	mg/L		0,05
Nickel	mg/L		0,05
Polychlorobiphényle PCB	mg/L		0
Cadmium	mg/L		0,005
Mercuré	mg/L		0,001
GERMES PATHOGENES ET INDICATEURS DE POLLUTIONS FECALE	NORME		
Coliformes totaux	0 / 100mL		
Streptocoques fécaux	0 / 100mL		
Coliformes thermotolérants (E. coli)	0 / 100mL		

Source : Société JIRAMA

I – 2/ GENERALITES SUR LE PUIT

I – 2 – 1/ Définition

Le puits est un ouvrage de captage vertical qui permet l'exploitation des eaux souterraines contenue dans les interstices ou dans les fissures d'une roche du sous-sol appelé aquifère [18].

I – 2 – 2/ Les différentes types de puits

Selon les sources d'alimentation des puits, c'est-à-dire les nappes d'eau souterraine, on distingue en deux grandes catégories : le puits de surface et les puits artésien ou les puits profond.

I – 2 – 2 – 1/ Le puits de surface

Le puits de surface est un ouvrage de captage d'eau souterraine avec un diamètre intérieur généralement supérieur à 60 cm et de profondeur de 9 m à partir de la surface du sol. Il est alimenté par la nappe phréatique ou nappe libre.

Ce type de puits est facilement accessible. Toutefois, sa faible profondeur augmente considérablement les risques de contamination. En effet, les eaux de surface souillées peuvent facilement s'infiltrer vers la nappe phréatique. Le rendement de ce type du puits est directement lié aux conditions climatiques (sècheresse et précipitation) et aux usages intensifs [20].

I – 2 – 2 – 2/ Puits profond

Un puits profond est un ouvrage de captage d'eau souterraine ayant un diamètre habituellement de 6 pouces et de profondeur environ de 100 m à partir de la surface du sol. Il est alimenté par la nappe d'eau sous-pressure ou nappe captive.

Il est habituellement fiable et stable toute l'année pour ce qui est de la qualité et de la quantité de l'eau. Ce type de puits est moins vulnérable face à la contamination provient de la surface du sol. Donc deux avantages importants pour celui-là : en premier lieu, une plus grande salubrité de l'eau, et en second lieu, une plus grande disponibilité [20].

I – 2 – 3/ Le système de protection d'un puits

Pour protéger un puits, le travail à faire commence sur le choix de son emplacement. Cela garantira la sécurité et la performance du puits. Pour cela, il faut éviter l'emplacement sur le terrain bas, on doit aussi tenir compte de plusieurs éléments sur le terrain. Ces éléments à considérer sont :

- Les retraits ou distances sécuritaires à respecter pour implanter le puits,
- L'environnement salubre dans la zone où le puits doit être implanté.

La distance admissible entre les sources de contamination et le puits est représentée par le tableau 5.

Tableau 5. Les distances minimales entre les sources de contamination et le puits

Sources potentielles de contamination	Distances (m)
– Installation d'élevage d'animaux (Bâtiment)	>30
– Ouvrage de stockage de déjections animales	
– Pâturage et cour d'exercice	>30
– Cimetières	>30
– Aire de compostage	>30
– Système étanche e traitement des eaux usées	>15
– Système non étanche de traitement des eaux usées	>30
– Agriculture	>30

Source : Guide technique sur le prélèvement d'eaux souterraines du mddelec.

On doit aussi tenir compte la mode de construction du puits si l'on veut un approvisionnement en eau saine durable. Un puits bien construit diminuera les risques de contamination des eaux souterraines. Alors, pour que le puits soit protégé, il doit aménager la surface du puits pour le protéger contre l'infiltration des eaux de surface. Pour cela, il faut :

- mettre du couvercle pour protéger la pénétration directe des contaminants à travers le toit du puits,
- mettre une margelle ayant une hauteur de 30cm minimum, qui est un muret autour de la tête du puits, pour limiter les risques des chutes et l'accès des animaux aux bords.
- mettre aussi du trottoir et du drainage pour drainer les eaux de surface vers l'extérieur et pour éviter l'infiltration des eaux de surface.

Le puits aussi doit contenir un cuvelage en béton, en brique ou en coffrage métallique pour soutenir le terrain traversé et pour empêcher l'infiltration des eaux de surface [22]. Le schéma ci-dessous représente la coupe d'un puits moderne protégé.

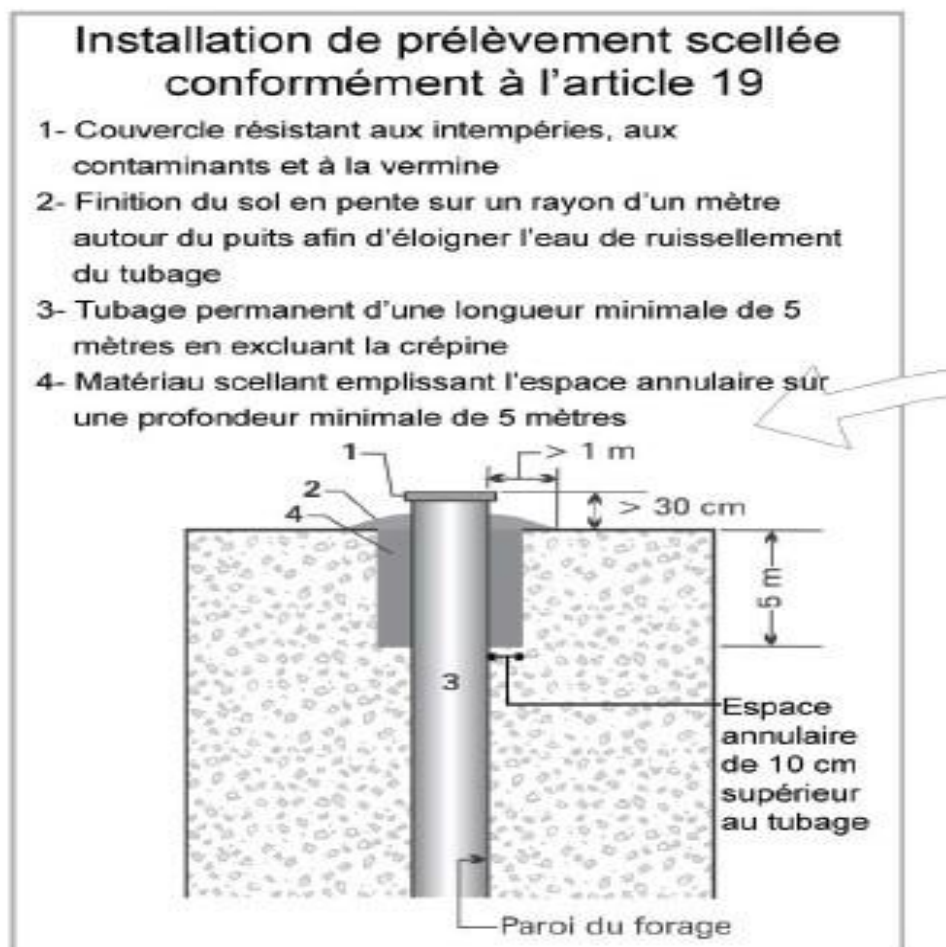


Figure 2. Schéma du puits protégé

I – 3/ POLLUTIONS DES EAUX DE PUITES

I – 3 – 1/ Définitions

I – 3 – 1 – 1/ La pollution ou la contamination

C'est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directes ou indirectes altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes [5].

I – 3 – 1 – 2/ Les polluants ou contaminants

Ce sont des substances ou énergie introduit dans l'environnement, et qui génèrent des effets indésirables' ou défavorisent l'utilité des ressources [19].

I – 3 – 2/ Répartitions spatio-temporelle des pollutions

I – 3 – 2 – 1/ Répartition géographique

Selon la répartition spatiale ou géographique des pollutions, on distingue deux grandes catégories de pollution : les pollutions diffuses et les pollutions ponctuelles [19].

a) Pollution diffuse

La pollution diffuse est une pollution résultant d'épandage des produits solides ou liquides à la surface du sol et occupent une grande superficie. Elle est la pollution la plus répandue et la plus néfaste. Elle contamine l'air, le sol et l'eau sur des longs périodes. Le transfert de ce type de pollution vers la nappe d'eau souterraine se fait par l'infiltration des eaux de surface, elle est difficile à contrôler [19].

On observe plusieurs sources de pollution diffuse :

- épandage de pesticides ;
- épandage d'engrais en plus ou moins grande concentration ;
- entretien routier.
- le non respect des normes en matière de construction de latrines

b) Pollution ponctuelle

La pollution ponctuelle est produite par l'introduction, sur une surface restreinte, de substances polluantes, soit directement et de manière plus ou moins continue (la fuite sur une canalisation) ou pendant une durée brève (déversement accidentel), soit indirectement, par des dépôts de solides contenant les polluants à la surface du sol [5].

Les effets de telles contaminations sont immédiats et peuvent provoquer la mortalité des êtres vivants.

I – 3 – 2 – 2/ Répartition dans le temps

On distingue deux types de pollution dans le temps, ce sont : la pollution chronique et la pollution accidentelle.

a) Pollution chronique

La pollution chronique est une pollution permanente. Elles sont soit par des émissions répétées ou continues de polluants, soit par la présence de polluants très rémanents. Ce type des pollutions est connue ou prévisible et peut être très variable dans le temps [22].

- Corrosion des éléments métalliques
- Emissions dues au gaz d'échappement des voitures

b) Pollution accidentelle

Elle est due à un déversement consécutif, à un accident de circulation qui implique le transport de marchandises dangereuses.

Les transports constituent les causes principales de cette pollution. La pollution accidentelle peut être également due à une panne dans le fonctionnement de stations d'épurations des eaux, le mauvais entreposage de produits chimiques solubles, une dispersion dans la nature de gaz toxique par les usines et l'incendie.

I – 3 – 3/ Les principaux types des contaminants

Selon la nature des contaminants, ils doivent être classifiés en trois types distincts [6].

I – 3 – 3– 1/ Les contaminants physiques

Ce type de contaminant altère l'apparence physique de l'eau telle que sa transparence, à cause de la présence des particules en suspension comme de l'argile et du limon, et leur qualité organoleptique. L'eau trouble est problématique parce que les particules présentes dans l'eau peuvent être une source de nourriture pour les bactéries [7].

I – 3 – 3 – 2/ Les contaminants chimiques

Il s'agit de différentes substances dissoutes dans l'eau, provenant des activités humaines. Ils sont distingués en deux grandes catégories : les polluants organiques et les polluants inorganiques.

a) Les contaminants chimiques inorganiques

Certain composés inorganiques sont susceptibles d'être considéré comme des contaminants ou polluants. La plupart entre eux sont dangereux vis-à-vis à la santé, et sont difficile à éliminer.

Citons :

- les métaux et métalloïdes lourds tels que le plomb, l'arsenic, le cobalt, l'aluminium, etc.
- les nitrates et nitrites
- les chlorures
- les phosphates.

b) Les polluants chimiques organiques

Ce sont des substances organiques qui sont dissoutes dans l'eau. Leur présence dans cette dernière est principalement due à la décomposition des végétaux et animaux. Ils peuvent être aussi produire sous l'effet des rejets des effluents industriels et des rejets des eaux usées ménagères.

Citons :

- Les polychlorobiphényles ou PCB,
- Les détergents,
- Les pesticides,
- Les matières organiques

I – 3 – 3 – 3/ Les contaminants bactériologiques

Ce sont les micro-organismes tels que les bactéries, les virus et champignons pouvant se trouver dans l'eau. Ce type de contaminant est fréquent et provient généralement d'une pollution par des matières fécales animales ou humaines.

Citons :

- Les coliformes totaux
- Les coliformes fécaux (E. coli)
- Les streptocoques fécaux

I – 3 – 4/ Les caractéristiques physico-chimiques des contaminants

En générale, chaque contaminant, organique ou inorganique, a des propriétés intrinsèques qui jouent un rôle très important dans leur comportement. En effet, ces propriétés vont être déterminantes sur la manière dont les contaminants vont migrer. Le tableau 6 représente les différentes propriétés des polluants et leur signification [8].

Tableau 6. Conséquences des propriétés intrinsèques des polluants sur leur comportement

Propriété	Signification	Incidence
Solubilité dans l'eau ou hydrosolubilité	Tendance à la mobilisation de la substance par lessivage lors d'épisodes pluviométriques ou par ruissèlement	– Une forte solubilité constitue un facteur aggravant des pollutions. Par contre, les polluants organiques très solubles sont plus facilement biodégradables
Densité liquide/Vapeur		Comportement vis-à-vis de la nappe superficielle ou sous-jacente.
Temps de demi-vie	Stabilité	Persistance dans l'environnement
– Polarité ou hydrophobicité K_{ow} – Coefficient d'adsorption au carbone organique des sols K_{oc} – pKa	Rétention	– Influence sur la rétention d'un composé par la matière organique des sols, sur sa mobilisation par de l'eau d'infiltration, ou sur son extraction lors des opérations de dépollution. – Influence aussi sur la biodisponibilité et le potentiel de bioaccumulation.
Tension de vapeur à 20°C Point d'ébullition Constante de Henry	Volatilité	– Influence sur la manière dont le polluant s'infiltre dans les sols, dont il s'en libère par évaporation naturelle ou dont il en est éliminé lors des opérations de dépollution ; cette propriété est importante pour le choix d'une technique de dépollution.
Viscosité	Vitesse de déplacement	– Cinétique du modèle

Deuxième partie

ETUDES EXPERIMENTALES

Chapitre II : METHODOLOGIES

II – 1/ PRESENTATION DE LA ZONE D’ETUDE

II – 1 – 1/ Localisation de la CUA

La Commune Urbaine d’Ambatolampy est localisée dans la région de Vakinankaratra. Elle se situe à 68 km au sud d’Antananarivo et à 100 km au nord d’Antsirabe. Elle est l’une des 18 communes qui constituent le district d’Ambatolampy dans la région Vakinankaratra. Elle couvre environ une superficie de 30 km² [15].

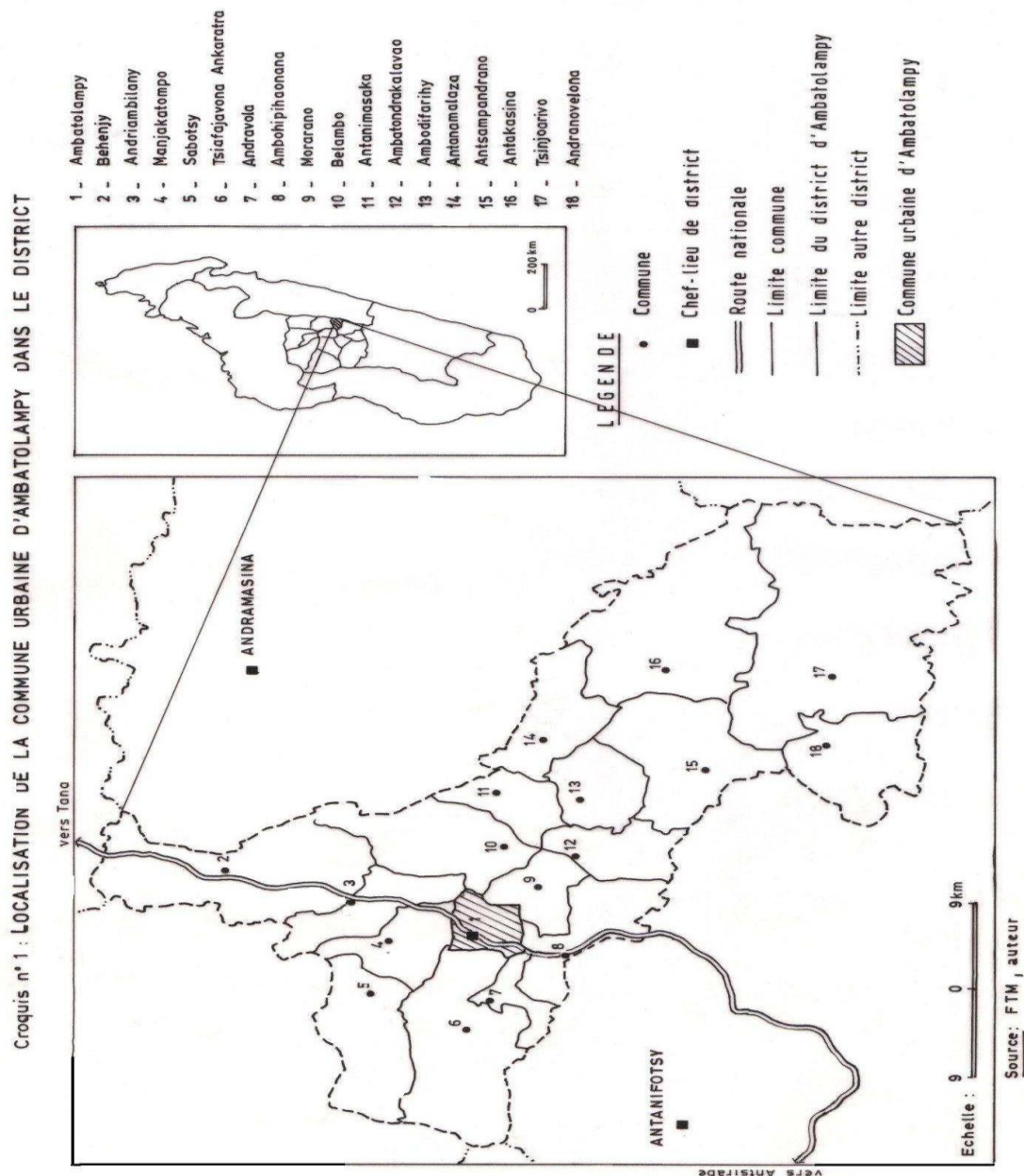


Figure 3. Localisation de la commune urbaine ambatolampy

II – 1 – 2/ Description géographique

II – 1 – 2 – 1/ Climatologies et hydrographies

Dans la CUA, le climat est influencé par la chaîne de montagne d'Ankaratra et la forêt de Manjakatempo. La précipitation annuelle est environ de 1089 mm, répartie inégalement sur 130 jours notamment de novembre à mars. Les mois le plus arrosés est les mois de décembre et de janvier durant laquelle la précipitation atteint respectivement 272,6 mm répartie sur 19 jours et 247,9 mm sur 16 jours, tandis que le mois de juin est le mois le plus sec avec 14,4 mm de pluie répartir sur 6 jours. La température dans cette commune varie entre 6,2°C et 19,8°C pour le mois le plus froid, et entre 14,1°C et 25,7 °C pour le mois le plus chaud. La moyenne annuelle de la température est de 16,13°C. D'après la direction de la météorologie et d'hydrologie Ampandrianomby, le climat se présente de la manière suivante :

- Température maximale : 23,2 °C
- Température minimale : 10,4°C
- Précipitation totale : 1089 mm

On y trouve une seule grande rivière qui traverse d'Ouest vers l'Est. Les sources de la rivière d'Ambatolampy viennent de la chaîne montagneuse d'Ankaratra. Cette rivière arrose les bas-fonds de la commune, plus précisément la rizière [15].

II – 1 – 2 – 2/ Les caractéristiques du sol

La CUA s'étale sur une superficie de 30 km². La topographie de la région est sous forme de cuvette entourée des petites collines au Nord, au Sud et Sud – Est dominées par la chaîne de montagne d'Ankaratra à l'Ouest. Les vallées plus ou moins étroites commencent à être transformées en zone d'habitation. Les bas-fonds sont assez larges pour pratiquer la riziculture et la culture de pomme de terre. Le sol de la région peut être classé en 3 catégories à savoir [15]:

- Les sols latéritiques parfois rocaillieux sous couvert herbeuses. Ces sols ont une couleur rouge.
- Les sols ferrugineux des Tanety sont transformés en cultures pluviales mais surtout en zone d'habitation par la population locale.
- Les sols argilo-limoneux de couleur brune à brun noir au niveau des bas-fonds.

II – 1 – 2 – 3/ Caractéristique hydrogéologique de la CUA

La Commune Urbaine d'Ambatolampy se trouve dans les hauts plateaux selon la carte hydrogéologie de Madagascar (cf. annexe 5). Ces hauts plateaux sont caractérisés par trois types de nappe qui sont :

- Les nappes d'alluvions
 - Débit $Q/S = 3-6 \text{ L/s/m}$
 - He = 10 m, profondeur faible 5 m
 - Eau peu minéralisé
- Les nappes d'altérites
 - Débit faible
 - He variée, profondeur moyenne
 - Eau bicarbonatée sodique, faiblement minéralisé
- Les nappes d'arènes-socle
 - Débit $Q/S = 1-2 \text{ L/s/m}$
 - He et profondeur variée
 - Eau bicarbonatée calcique-magnésienne, moyennement minéralisé

II – 1 – 3/ Choix du site de prélèvement

Les échantillons d'eaux ont été prélevés à partir de huit puits situés dans le fokotany Ambodiriana. Ce fokotany se trouve au bas-fond de la cuvette qui représente la forme topologique de la CUA. Les sols dans ce bas-fond est du type argilo-limoneux qui prend une couleur brune à brun noir.

La plupart des puits dans le ce fokotany sont des puits de surface, qui sont alimentés par la nappe libre ou appelée aussi nappe phréatique qui est reliée directement à la surface du sol sous l'action de l'infiltration à partir des porosités de la couche constituant la zone non saturé au-dessus de cette nappe. Donc les eaux souterraines qui alimentent ces puits peuvent être contaminées par des polluants situés au niveau de la surface du sol par l'infiltration. Les photos ci-dessus illustrent les types et l'état des puits utilisés par les ménages ayant fait l'objet de la présente étude.



Figure 4. Photo de puits P1



Figure 5. Photo de puits P2



Figure 6. Photo de puits P3



Figure 7. Photo de puits P4



Figure 8. Photo de puits P5



Figure 9. Photo de puits P6



Figure 10. Photo de puits P7



Figure 11. Photo de puits P8

Le tableau 7 ci-dessous présente les caractéristiques des puits étudiés.

Tableau7. Description des états des puits

Puits	Profondeur (m)	Diamètres (m)	Etats de paroi de protection	Couvercle	Margelle	Hauteurs du Margelle (m)
P1	3	1,3	En brique	Absente	Absente	-
P2	6	1	En brique	Inadéquate	En pneu de voiture	-
P3	6	1	En brique	Inadéquate	En pneu de voiture	-
P4	5	1	En brique	Avec	En brique couvert de ciment	0.15
P5	7	0,9	En brique	Inadéquate	En brique couvert de ciment	0.4
P6	4	1	En brique	Avec	En brique couvert de ciment	0.5
P7	5	1	En brique	Avec	En brique couvert de ciment	0,5
P8	6	0,8	En brique	Absente	En brique couvert de ciment	0.2

Concernant l'environnement où sont localisés les différents puits, et ses usages, ils sont représentés dans le tableau 8.

Tableau8. Description de l'environnement et usage des puits

Puits	Présentations de l'environnement physique	Usages
P1	<ul style="list-style-type: none"> – Situé environ 3m d'un zone de culture, 20m d'élevage et 17 m du latrine, – Entouré des plantations, – Aucun entretien autour du puits. – Non aménagé 	Usage domestique (consommation, lessive)
P2	<ul style="list-style-type: none"> – Situé environ 3m d'élevage, 18m du latrine, – Aucun entretien autour du puits. – Non aménagé 	Usage domestique (consommation, lessive)
P3	<ul style="list-style-type: none"> – Situé environ 15m du latrine, 9m d'élevage – Aucun entretien autour du puits – Non aménagé 	Usage domestique (consommation, lessive)
P4	<ul style="list-style-type: none"> – Situé environ 8m du dépôt des fumiers, – Aucun entretien autour du puits. – Aménagé 	Usage domestique (consommation, lessive)
P5	<ul style="list-style-type: none"> – Semi-aménagé – Distant de 5 m des agricultures 	Usage domestique (consommation, lessive)
P6	<ul style="list-style-type: none"> – Situé environ 16m de latrine, – Entouré de plantation, – Aucun entretien autour du puits. – Aménagé 	Usage domestique (consommation, lessive)
P7	<ul style="list-style-type: none"> – Situé environ 9m de latrine, – Entouré de plantation, – Aucun entretien autour du puits. – Aménagé 	Usage domestique (consommation, lessive)
P8	<ul style="list-style-type: none"> – Situé au bord d'une route, – Entouré de plantation, – Aucun entretien autour du puits. – Non aménagé 	Usage domestique (consommation, lessive)

II – 2/ ANALYSES DE LA QUALITE DES EAUX DE PUITES

L'analyse de la qualité de l'eau est nécessaire et qu'il faut le faire régulièrement pour s'assurer de la bonne qualité de l'eau utilisée. Les résultats de cette analyse nous permettent de prendre des mesures et de résoudre d'éventuels problèmes affectant la qualité. Il y a plusieurs étapes à suivre pour réaliser l'analyse de l'eau.

II – 2 – 1/ Prélèvement des échantillons d'eau

L'analyse de l'eau débute par la collecte des échantillons. Ce prélèvement nécessite un bon conditionnement pour pouvoir maintenir l'intégrité des échantillons jusqu'au laboratoire où on les fait analyser. Pour les analyses bactériologiques, les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en verre stérilisé, puis transportés dans une glacière réfrigérée à 4°C grâce aux plaques eutectiques congelées.

En ce qui concerne les analyses physico-chimiques, les échantillons ont été prélevés à l'aide de flacons en plastiques, puis transportés au laboratoire à l'aide d'une glacière réfrigérée, pour faire immédiatement l'objet d'analyses du pH, conductivité, turbidité et oxygène dissous dès qu'ils sont arrivés au laboratoire d'analyse physico-chimique du CNRE situé à Fiadanana Antananarivo.

II – 2 – 2/ Analyse des paramètres physico-chimiques

L'analyse de ces paramètres est très importante, puisque cela nous permet de déterminer l'aspect physique et chimique de l'eau. C'est-à-dire, elle permet de mettre en évidence les concentrations des éléments chimiques présents dans l'eau et leurs propriétés physiques.

II – 2 – 2 – 1/ Mesure de la conductivité (Méthode électrométrique)

On verse dans un bécher 100mL de l'échantillon, puis on place dans ce bécher l'électrode du conductimètre, on met en marche le conductimètre et on lit la valeur affichée sur l'écran lorsqu'elle est stable.

II – 2 – 2 – 2/ Mesure du pH (Méthode électrométrique)

❖ Principe

Le pH se définit comme le logarithme négatif de l'activité de l'ion hydrogène suivant:

$$\text{pH} = - \log a_{\text{H}^+}$$

Il est mesuré à l'aide d'une électrode de verre, dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogènes suivant l'équation de Nernst.

$$E = E_0 + 2,3 \frac{RT}{nF} \log a_{\text{H}^+}$$

- E: potentiel mesuré (en volt)
- E_0 : potentiel standard dépendant du choix de l'électrode de référence (en volt)
- R : constante des gaz ($J.mol^{-1}.K^{-1}$)
- T : température absolue (K)
- n : nombre d'électrons mis en jeu dans l'équilibre Ox/Réd
- F : constante de Faraday (96500 C)
- a_H^+ : activité des ions H^+ dans l'échantillon

Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre à haute impédance communément appelé pH-mètre [11, 3].

II – 2 – 2 – 3/ Mesure de la turbidité (Méthode photométrie)

On utilise l'appareil appelée turbidimètre pour mesurer la turbidité d'une eau. On verse l'échantillon dans le tube à échantillon du turbidimètre, puis on allume le turbidimètre et on fait la lecture en appuyant sur la touche de lecture. Il faut attendre que la valeur affichée sur l'écran soit stable.

II-2 –2 – 4/ Dosage du titre alcalimétrique simple (T.A) et titre alcalimétrique complète (T.A.C) (Méthode titrimétrique)

❖ Principe [3]

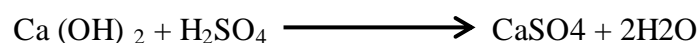
Cette méthode est basée sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué. En titrant l'eau à analyser avec un acide diluée, on obtient un premier point de neutralisation qui est le TA, et qui correspond à pH 8,3; on a neutralisé l'ensemble des ions hydroxydes (OH^-) et des ions carbonates selon les réactions suivant :



La troisième réaction commence seulement à se produire:



En continuant le dosage, on est amené à un deuxième point de neutralisation à pH 4,3. On aura alors dosé la totalité des hydroxydes, carbonates et bicarbonates présents initialement suivant les réactions ci-dessous :





II – 2 – 2 – 5/ Dosage de matière organique (méthode au permanganate de potassium à chaud)

Pour apprécier la teneur en matières organiques dans un échantillon d'eau, la méthode au permanganate de potassium à chaud ou à froid a été utilisée. Dans ce travail, la méthode utilisée était celle à chaud.

❖ Principe

Les matières organiques sont oxydées en milieu acide par une solution de permanganate de potassium diluée en portant l'eau à l'ébullition. L'excès de cette solution de permanganate est dosé après 10 minutes exactement d'ébullition [3].

II – 2 – 2 – 6/ Dosage du chlorure :(Méthode titrimétrique)

❖ Principe

Les chlorures sont dosés en milieu acide par une solution titrée de thiocyanate d'ammonium ou de potassium en présence du nitrate d'argent. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition de la teinte rouge caractéristique du thiocyanate d'argent.

II – 2 – 3/ Analyse bactériologiques

La majorité des microorganismes pathogènes (virus, bactéries ou protozoaires pouvant causer des maladies) susceptibles de se trouver dans l'eau proviennent de déjections humaines ou animales. Comme il est techniquement impossible de faire l'analyse de tous les pathogènes, alors on utilise des indicateurs microbiologiques qui sont en soi sans danger : les bactéries coliformes totales, les bactéries coliformes fécaux et les bactéries streptocoque fécaux.

II – 2 – 3 – 1/ Analyse des coliformes fécaux (Méthode par filtration sur membrane)

❖ Principe

Cette méthode consiste à recueillir, identifier et dénombrer les bactéries recherchées dans un échantillon à la surface d'une membrane filtrante stérile. Le principe consiste à filtrer, à travers une membrane de porosité 0,45 µm, un volume déterminé de l'échantillon et

d'incuber ensuite cette membrane pendant 24 heures à 44°C sur le milieu approprié, c'est-à-dire la gélose lactosée au TTC (Chlorure de triphényl-2, 3, 5-tétrazolium) ou tergitol 7. Dans ces conditions, les coliformes fécaux forment des colonies jaune ou jaune orangé qui permettant par la suite la numération et l'identification présomptive [12].

II – 2 – 3 – 2/ Analyse des coliformes totaux (Méthode par filtration sur membrane)

❖ Principe

Elle a le même principe que celle des coliformes fécaux. Il consiste à filtrer, à travers une membrane de porosité 0,45 µm, un volume déterminé de l'échantillon et d'incuber ensuite la membrane pendant 24 heures à 37°C sur le gélose lactosée au TTC ou tergitol 7. Les coliformes totaux forment des colonies jaune à jaune orangé qui permettant en suite une numération et une identification [12].

II – 2 – 3 – 2/ Analyse des streptocoques fécaux (Méthode par filtration sur membrane)

❖ Principe

Le principe de cette méthode est le même que pour les deux autres bactéries ci-dessus. Filtrer l'échantillon à travers une membrane filtrante de porosité 0,45 µm, suivi de l'incubation de la membrane pendant 24 heures à 37°C sur le milieu m-enterococcus agar. Dans ces conditions, les streptocoques fécaux forment des colonies violettes qui permettent la numération et l'identification présomptive.

II – 3 / EVALUATION DES RISQUES DE CONTAMINATION DES EAUX DE PUITTS

L'évaluation des risques de contamination est une méthode utilisée lors de la surveillance sanitaire des points d'eau d'une zone (puits, borne fontaine...), afin d'évaluer et d'identifier les sources potentielles de contamination.

La méthode est basée sur la réalisation conjointe d'enquêtes sur la présence ou non des facteurs de risques en utilisant des questionnaires (cf. annexe 6) et de collecte d'échantillons pour déterminer la présence éventuelle de bactéries pathogènes. Dans ce sens, les coliformes thermotolérants sont testés sur chaque échantillon.

Les résultats d'enquêtes et d'analyses bactériologiques sont évalués en utilisant une matrice entre scores des facteurs de risque et nombre UFC. 4 niveaux de risque se dégagent de matrice après l'exploitation des résultats :

- pas de risque évident et par conséquent pas d'actions à entreprendre
- risque faible et donc à surveiller pour d'éventuelle action d'atténuation
- risque moyen à élevé nécessitant des actions d'atténuation prioritaires
- risque très élevé exigeant d'immédiate action d'élimination des risques

Tableau 9. L'évaluation de la potentialité des risques

9-10 = Très élevé	6-8 = Elevé	3-5 = Moyenne	0-2 = Faible
Action immédiat	Action à prioriser	Point d'eau à surveiller	Pas d'intervention

II – 4/ METHODE D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE

La vulnérabilité d'un aquifère par la pollution est définie comme les caractéristiques intrinsèques de la couche qui sépare la zone saturée à la surface du sol, qui détermine sa sensibilité à être irréremédiablement affecté par des contaminants utilisés au niveau de la surface du sol. Elle est fonction de :

- l'accessibilité de la zone saturée à la pénétration du polluant
- la capacité d'atténuation de la couche au dessus de la zone saturée résultant d'une capacité physico-chimique ou de réactivité du contaminant.

Il y a plusieurs méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la pollution, mais la plus utilisée actuellement dans le monde est la méthode DRASTIC basée sur les paramètres suivants :

- [D] : Profondeur de la surface de la nappe (ou Depth);
- [R] : Recharge nette;
- [A] : Nature lithologique de l'Aquifère;
- [S] : Sol (granulométrie et faciès);
- [T] : Topographie des terrains;
- [I] : Impact de la zone non saturée (lithologie et épaisseur);
- [C] : Conductivité hydraulique (perméabilité) de la zone saturée.

Toutefois, compte tenue de l'insuffisance des données disponibles relatives à ces paramètres, cette méthode n'a pu être utilisée. Par conséquent, une méthode simplifiée basée sur l'évaluation des facteurs de vulnérabilité suivants a été adoptée:

- L'occupation de la zone environnante et l'état des puits
- Les données disponibles sur les caractéristiques géologique et hydrogéologique du sol (perméabilité et porosité, type de nappe)

Chapitre III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III – 1/ RESULTATS ET DISCUSSIONS

III – 1 – 1/ Analyses physico-chimiques

Pour interpréter les résultats d'analyses des échantillons d'eau de puits collectés, les extraits des normes de potabilités selon l'OMS et celles utilisés à Madagascar dans le tableau 10 seront considérées comme des valeurs référence.

Tableau 10. Extraits des normes de potabilités selon l'OMS et celles utilisés à Madagascar

Paramètres	Unités de mesure	Normes de potabilité selon OMS	Normes de potabilité suivant le décret n°2004-635 du 15 Juin 2004
pH	-	6,5 – 8,5	6,5 – 9,0
Conductivité	µS/cm	< 2500	< 3000
Turbidité	NTU	< 5	< 5
Oxygène dissous	% de saturation	-	>75
Nitrate	mg/L	< 44	< 50
Nitrite	mg/L	-	< 0,1
Chlorure	mg/L	< 250	< 250
Sulfate	mg/L	< 250	< 250
Phosphate	mg/L	-	< 0,5
Matières organiques	mg d'O ₂ /L	-	< 5 (milieu acide)
TA/TAC	még/L	-	-
Cuivre	mg/L	-	< 1
Zinc	mg/L	-	< 5
Plomb	mg/L	-	< 0,05

III – 1 – 1 – 1/ Le pH

Les résultats des mesures du pH réalisés sur les huit échantillons sont présentés dans la figure 12.

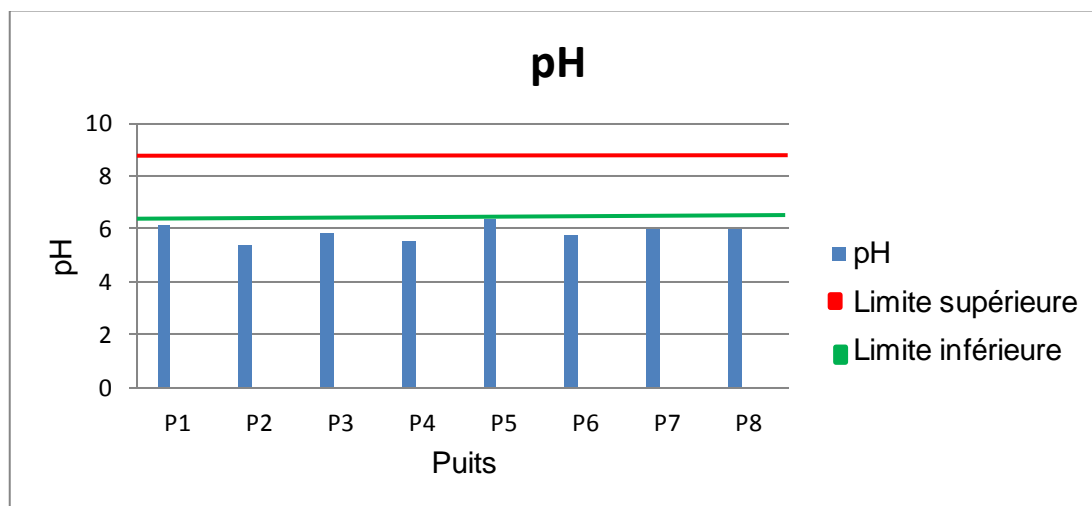


Figure 12. Valeurs du pH des eaux de puits

Le pH des échantillons analysés varie entre 5,38 et 6,4. Ces valeurs montrent des eaux relativement acides en dessous du pH neutre égal à 7. D'autre part, elles sont en dessous de la valeur du pH acceptable suivant les normes, de 6,5. La cause probable de ce pH relativement acide pourrait être la nature géologique du sol.

III – 1 – 1 – 2/ Conductivité

L'histogramme ci-dessous représente les valeurs de la conductivité des eaux de huit puits collectés.

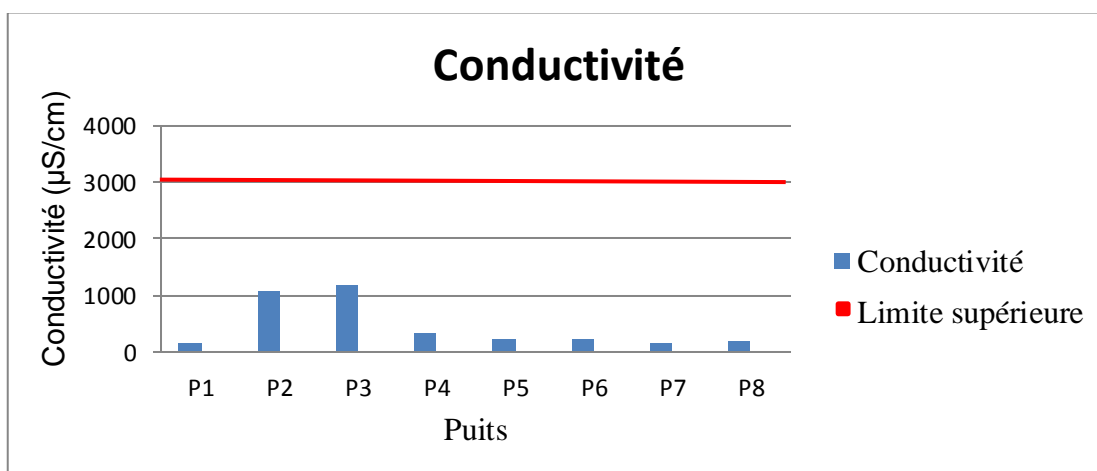


Figure13. Les conductivités des eaux de puits

Les valeurs de la conductivité des échantillons d'eau de puits mesurés se situent entre 114,3 et 1061,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Généralement, les eaux issues des eaux souterraines peu profondes sont moyennement minéralisées, de ce fait les valeurs mesurées sur les échantillons démontrent une minéralisation moyenne. Dans ce sens, elles sont très en dessous de la limite maximale acceptable de la norme de potabilité. La nature de la nappe, une nappe de surface, pourrait être expliquée par ces valeurs basses de la conductivité.

III – 1 – 1 – 3/ Turbidité

Les résultats de mesure de la turbidité des échantillons d'eau de puits collecté sont représentés dans la figure suivante :

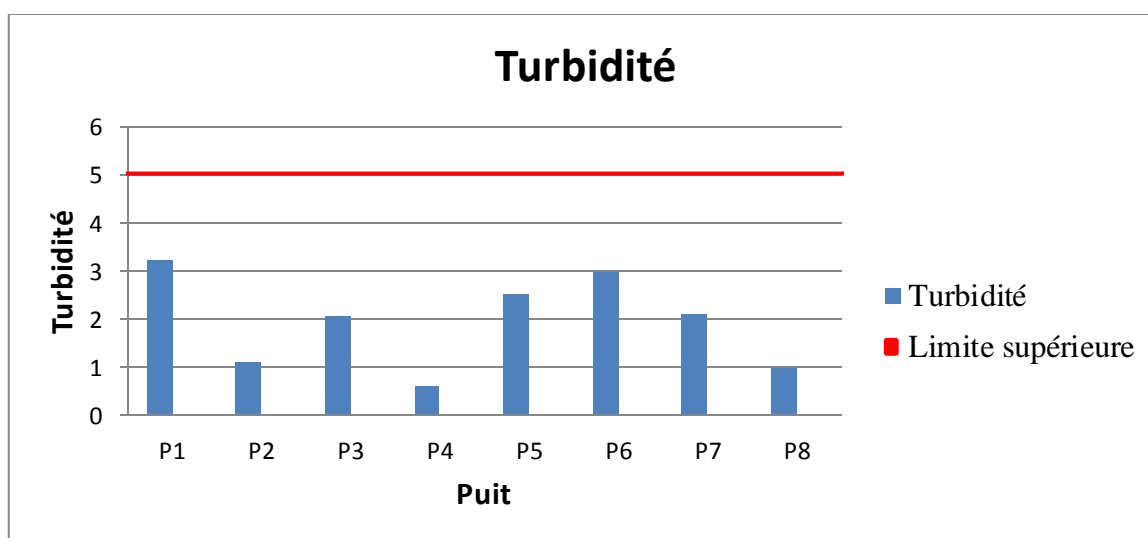


Figure 14. Les turbidités des eaux de puits

La turbidité des échantillons d'eau analysée s'étale entre 0,59 et 3,21 NTU. Ces valeurs peuvent être considérées comme acceptables selon les normes par qu'elles sont inférieures à 5 NTU, qui est la limite supérieure acceptable. Par ailleurs, les eaux de puits collectés sont visuellement limpides.

III – 1 – 1 – 4/ Oxygène dissous

Les valeurs de la concentration en oxygène dissous dans les eaux de huit puits analysés sont représentées sur la figure 15.

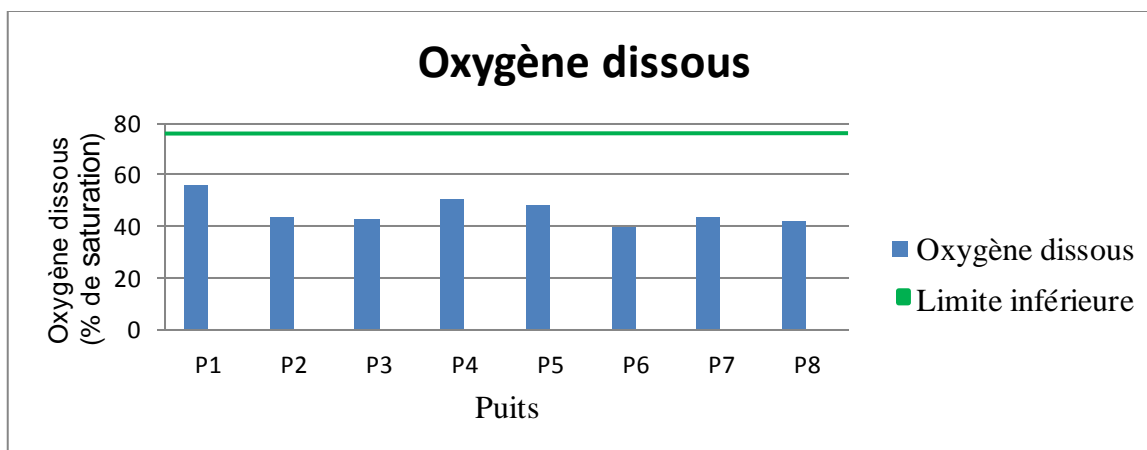


Figure 15. Teneur en oxygène dissous des eaux de puits

Cette figure représente les teneurs en pourcentage de saturation de l'oxygène dissous dans les échantillons d'eau des huit puits analysés. Elles varient entre 39,57 et 56,20% en saturation. Elles sont en dessous de la valeur recommandée par les normes.

La teneur de l'oxygène dissous dans l'eau est fonction de l'origine de l'eau. Les échantillons d'eau analysés sont d'origine souterraine peu profonde, et cela pourrait expliquer sa faible teneur en oxygène en plus du fait que les mesures ont été réalisées seulement au laboratoire Antananarivo.

III – 1 – 1 – 5/ Nitrate

La figure 16 représente la concentration en nitrate contenue dans les eaux des huit puits collectés et la valeur limite acceptable recommandée par les normes.

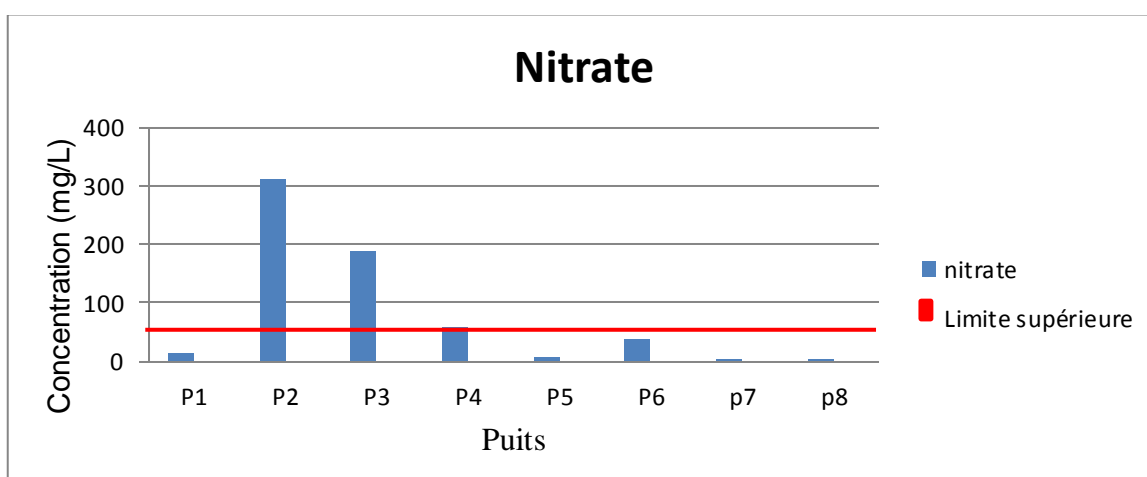


Figure 16. Teneur en nitrate des eaux de puits

Les résultats des analyses physico-chimiques des échantillons ont démontrés la présence de nitrate de concentrations relativement élevées dans les eaux des puits P2, P3 et P4. Les concentrations de nitrates dans ces eaux de puits sont respectivement de 312,57 mg/L, 187,47 mg/L et 58,70 mg/L.

La valeur maximale permise pour une eau destinée à la consommation humaine suivant le décret n° 2004-635 du 15 juin 2004 fixant les normes de la qualité de l'eau potable à Madagascar est de 50 mg/L, ce qui fait que la teneur en nitrate dans les échantillons d'eau de ces puits ne répond pas à cette norme.

Les puits P2 et P3 sont situés à une distance respectivement de 3 et 8 m d'élevage, cela pourrait être expliqué la forte teneur en nitrate dans les eaux de ces puits. Il semble que ce sont les fèces et l'urine des animaux, constitués par des composés azotés qui peuvent se transformer en nitrate sous l'action des bactéries nitrifiant. Ces polluants s'infiltrant dans le sol et contaminent la nappe qui alimente ces puits.

Pour le cas du puits P4, la présence du dépôt des lisiers distant d'environ 7 m du puits pourrait être la source des nitrates dans l'eau de ce puits. Les lisiers sont aussi constitués des composés azotés qui peuvent être considérés comme source de nitrate.

III – 1 – 1 – 6/ Nitrite

Les résultats d'analyse de l'ion nitrite sont représentés sur la figure 17 suivant.

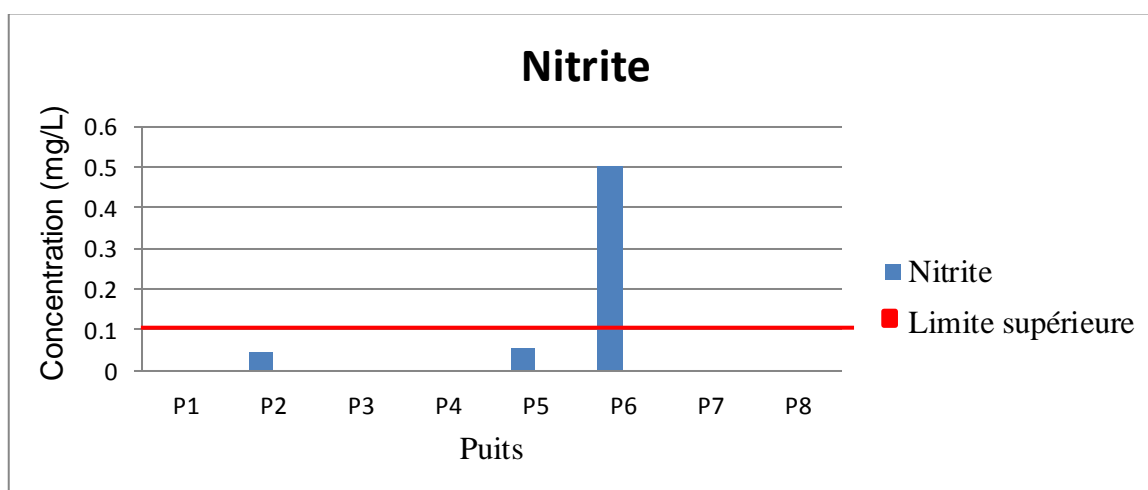


Figure 17. Teneur en nitrite des eaux de puits

Cette figure représente la concentration des ions nitrites en mg/L dans les échantillons d'eau de puits analysés et la valeur limite supérieur recommandé par la norme de potabilité Malgache. Dans les puits P2, P5 et P6, la concentration de nitrite est respectivement de 0,045, 0,055 et 0,5 mg/L si elle est à l'état de trace dans les autres puits.

III – 1 – 1 – 7/ Chlorure

Les concentrations en ion chlorure dans les eaux de puits prospectés sont représentées dans la figure 18.

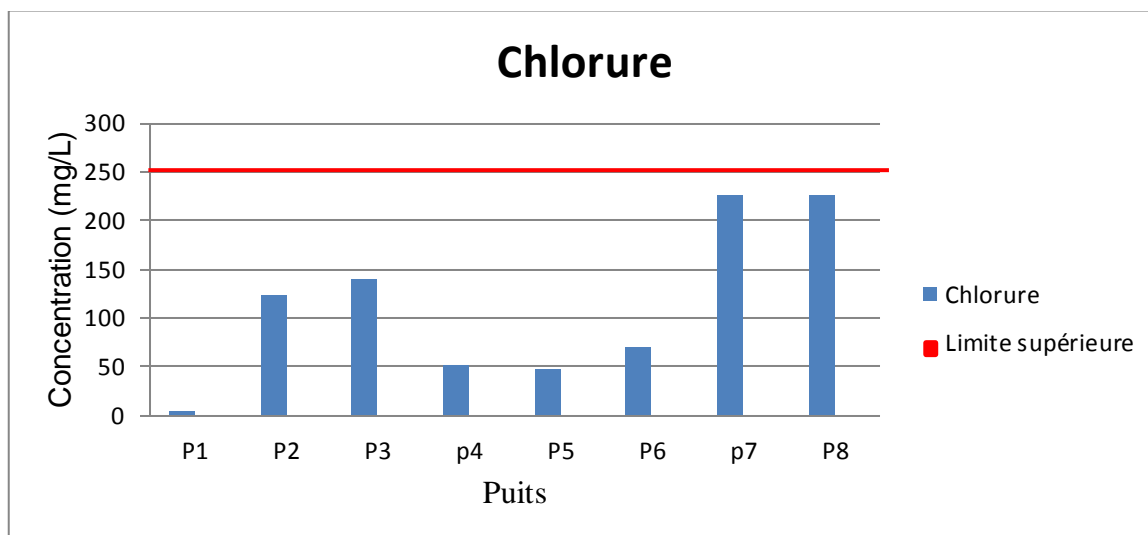


Figure 18. Teneur en ion chlorure des eaux de puits

Cette figure représente les valeurs de la concentration en ion chlorure dans chaque échantillon d'eau analysé et la valeur limite supérieure acceptable selon les normes de potabilité. Les concentrations de chlorure dans ces eaux de puits analysés s'étalent entre 4,26 et 225,78 mg/L. Elles sont admises aux normes et ne présentent aucune incidence sur la qualité des eaux de huit puits collectés. Il y a un écart relativement grand pour les concentrations en ions chlorures dans les différents échantillons, cela pourrait être du à la nature des terrains que l'eau traverse.

III – 1 – 1 – 8/ Sulfate

Les résultats de l'analyse des ions sulfates réalisés sur les huit échantillons sont présentés sur la figure 19.

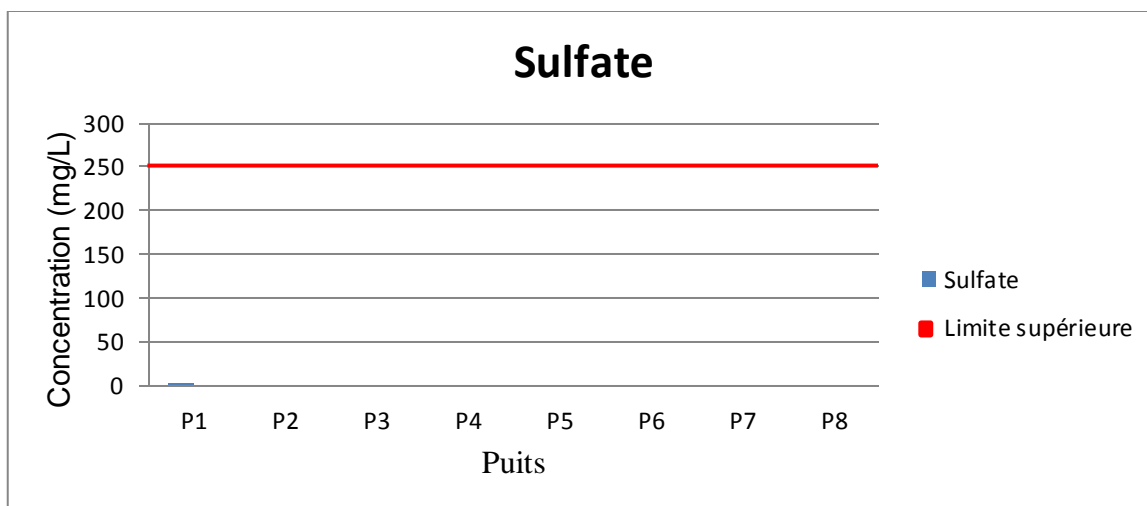


Figure 19. Teneur en sulfate des eaux de puits

Cette figure montre que les taux des sulfates dans les eaux de puits étudié sont tous à l'état de trace. Par conséquent, les eaux de huit puits étudiés ne présentent aucun risque sur la santé vis-à-vis aux sulfates.

III – 1 – 1 – 9/ Phosphate

La figure 20 ci-dessous représente les résultats d'analyse des ions phosphates contenues dans les échantillons d'eau de puits analysés et la valeur limite supérieur acceptable recommandé par la norme de potabilité Malgache.

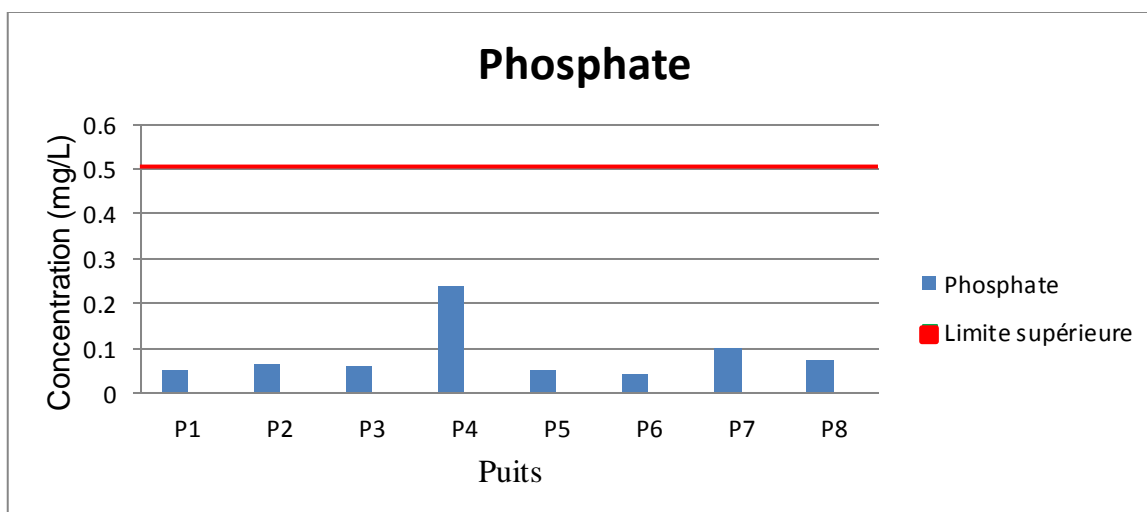


Figure 20. Teneur en phosphate des eaux de puits

La valeur maximale acceptable pour la teneur en phosphate dans l'eau de consommation selon la norme de potabilité Malgache est de 0,5 mg/L.

Cette figure permet d'observer que les concentrations des ions phosphates dans les échantillons respectent la norme. Elles s'étalent entre 0,043 et 0,24 mg/L. En conséquence, les phosphates contenus dans les eaux de puits collectés ne présentent aucun risque sur la santé.

III – 1 – 1 – 10/ Matières organiques

Le résultat d'analyse des matières organiques dans les huit échantillons d'eau de puits analysés est représenté sur la figure 21.

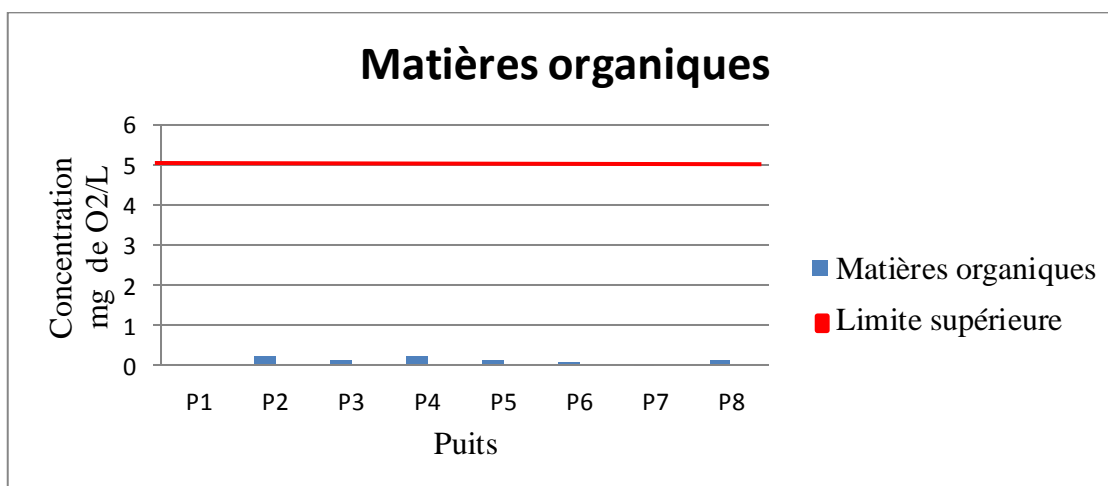


Figure 21. Teneur en matière organique

Cette figure représente la teneur en matières organiques dans les eaux de puits collectés et la valeur maximale admissible selon la norme de potabilité Malgache. Les concentrations des matières organiques contenues dans ces eaux de puits se situent entre 0,02 et 0,25 mg d'O₂/L. Elles sont très en dessous de la valeur limite supérieur recommandée par la norme, alors il n'y a pas de critique à faire vis-à-vis à la qualité de l'eau sur les matières organiques.

III – 1 – 1 – 11/ TA-TAC

La figure 22 ci-dessous représente le titre alcalimétrie simple (TA) et le titre alcalimétrie complet (TAC) en méq/L (en milliéquivalent de HCO₃⁻) des échantillons d'eau de puits prospectés.

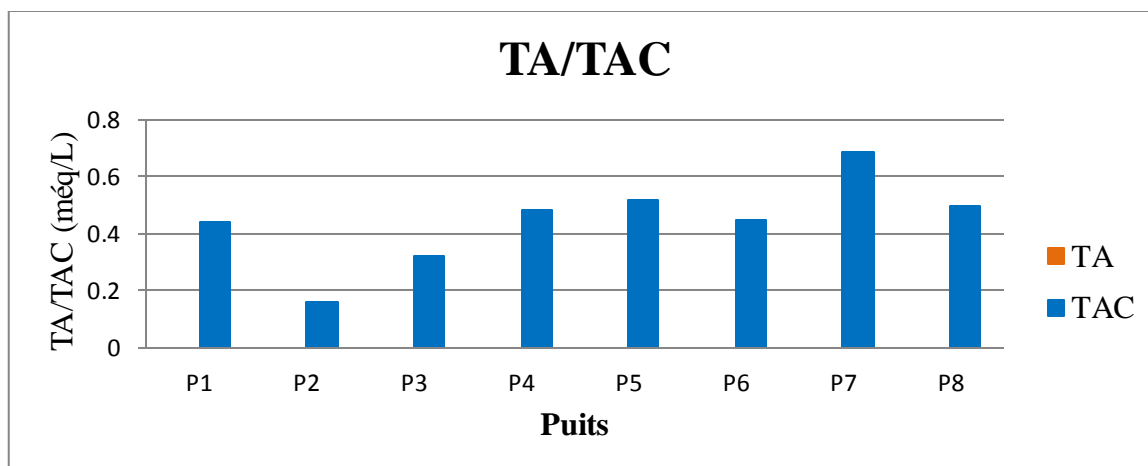


Figure 22. Titre alcalimétrie simple (TA) et Titre alcalimétrie complet (TAC)

Cette figure montre que les valeurs du titre alcalimétrie simple dans les échantillons analysés sont tous nuls et leurs titres alcalimétrie complet varient entre 0,16 et 0,69 méq/L. Ce qui signifie que les eaux de huit puits étudiés ne sont pas alcalins et la teneur en Ca(OH)_2 , Mg(OH)_2 , CaCO_3 et MgCO_3 semblent être très faibles. Par conséquent, la teneur en calcium et magnésium dans ces eaux aussi pourrait être faible.

III – 1 – 1 – 12/ Métaux lourds

L'analyse des métaux lourds telles que le cuivre (Cu), le zinc (Zn) et le plomb (Pb) se fait à l'aide d'une spectroscopie d'absorption atomique à flamme. Les résultats de cette analyse sont représentés dans le tableau 11.

Tableau 11. Résultats des analyses des métaux lourds

Puits	Paramètres			Unités
	Cu	Zn	Pb	
P1	< LMD	< LMD	< LMD	mg/L
P2	< LMD	0,025	< LMD	mg/L
P3	< LMD	< LMD	0,048	mg/L
P4	< LMD	< LMD	< LMD	mg/L
P5	< LMD	< LMD	< LMD	mg/L
P6	< LMD	< LMD	< LMD	mg/L
P7	< LMD	< LMD	0,04	mg/L
P8	< LMD	< LMD	0,047	mg/L

LMD (Cu) = 0,052 mg/L ; LMD (Pb) = 0,04 mg/L ; LMD (Zn) = 0,0234 mg/L

Ces résultats ont démontré que les concentrations du cuivre dans tous les puits étudiés sont inférieures à la limite de détection de l'appareil utilisé. Par conséquent, il est à l'état de trace. La valeur de la limite de détection de l'appareil pour le cuivre est inférieure à la valeur

recommandée par la norme de potabilité Malgache qui est de 1 mg/L, alors il n'y a pas de critique à faire vis-à-vis à la risque sanitaire pour le cuivre.

De même pour le zinc, seulement P2 qui prend la valeur de concentration 0,025 mg/L qui est inférieure à la valeur recommandée par la norme de potabilité malagasy, mais les autres sont inférieures à la limite de détection.

Il n'y a pas de critique à faire aussi pour le plomb puisque les teneurs en plomb dans les eaux de ces puits ne dépassent pas la valeur recommandée par la norme de potabilité Malgache.

III – 1 – 2/ Analyses bactériologiques

Les résultats des analyses bactériologiques des eaux de huit puits explorés sont récapitulés dans le tableau 12.

Tableau 12. Résultats des analyses bactériologiques des eaux de puits

Echantillons d'eau	Dénombrement :			Unité
	Coliformes totaux (dilution 1/9)	Coliformes fécaux	Streptocoques fécaux	
P1	$6,5.10^2$	$2,1.10^2$	3	ufc/100ml
P2	5.10^2	$1,3.10^2$	2	ufc/100ml
P3	$2,2.10^2$	27	<1	ufc/100ml
P4	$1,5.10^2$	35	$2,3.10^2$	ufc/100ml
P5	$3,4.10^2$	60	<1	ufc/100ml
P6	70	7	<1	ufc/100ml
P7	78	24	1	ufc/100ml
P8	$9,2.10^2$	78	4	ufc/100ml
Critères (eau alimentaire traitée ou non)	0	0	0	ufc/100ml
Méthodes	ISO 9308-1 :2000	ISO 9308-1 :2000	ISO 7899 2 :2000	

Formule du dénombrement : $N = \Sigma n/d$

- N : nombre de germes (ufc/100ml)
- n : nombre de colonies comptées sur les boîtes retenues
- d : taux de dilution

Le tableau ci-dessus représente la concentration des microorganismes recherchés dans les eaux de puits collectés. D'après ces résultats, on peut constater que tous les huit puits étudiés sont tous vulnérables à la contamination bactérienne telle que les coliformes totaux et les coliformes fécaux.

D'ailleurs, Ce tableau démontre que les coliformes totaux sont présent massivement par rapport aux deux autres bactéries. La présence assez remarquée des coliformes fécaux caractérisent également la qualité des eaux de ces puits.

Enfin, la présence des colonies des streptocoques fécaux démontre que la contamination pourrait être d'origine animale.

III – 1 – 2 – 1/ Coliformes totaux

Les concentrations de coliformes totaux dans ces puits varient entre 70 et 900 ufc/100 ml d'eau. Les valeurs dans ce tableau montrent que le nombre des bactéries coliformes totaux est plus important dans les puits P8, P1, P2, P5 et P3 qui sont les puits les moins aménagés. La contamination par les coliformes totaux est influencée par l'environnement immédiat des puits.

En effet, les coliformes totaux sont très répandus sur la surface du sol, et que les sources de pollution peuvent être diverses. Elles peuvent provenir soit d'une infiltration de l'eau de surface dans la nappe qui alimente le puits, soit d'une eau restée stagnante proche du puits, soit d'une pénétration directe sur la tête du puits sous l'action du refoulement d'eau dans le puits pour le cas des puits avec une faible hauteur de margelle. Elles peuvent être aussi transportées par le seau et la corde du puisage parce que l'utilisation de ces matériels n'est pas maîtrisée par l'utilisateur du puits. Les puisatiers déposent le seau et la corde dans un endroit où ils peuvent contaminer.

III – 1 – 2 – 2/ Coliformes fécaux

Les concentrations en coliformes fécaux s'étalent entre 7 et 2,1.102 ufc/100ml d'eau. Les puits les plus affectés sont les puits P1, P2, P3, p5, P7 et P8. La présence de coliformes fécaux dans l'eau de puits nous indique qu'il y a présence d'une source de matières fécales (fumier, fosse septique ou autre) dans l'environnement du puits.

Puisque les puits prospectés sont tous des puits de surface, donc les eaux de ruissellement durant la période de pluie représente une source de menace pour la qualité des eaux de puits.

Or le prélèvement des échantillons d'eau de ces puits a été effectué le mois de mai, c'est-à-dire vers la fin de la période de pluie, alors la contamination des eaux de ces puits par les matières fécales peut être causée par l'infiltration des eaux de ruissellement fortement contaminés en surface.

III – 1 – 2 – 3/ Streptocoques fécaux

La concentration des streptocoques fécaux dans les eaux de puits étudiés se situe entre 0 et 230 UFC/100ml, le puits le plus affecté est le puits P4. La présence de ce genre de bactérie indique une contamination d'autres microorganismes pathogènes d'origine fécale.

Ce puits se situe à une distance de 8m de dépôt du fumier et en même niveau de celle-ci, alors il est possible d'avoir une infiltration des matières fécales dans les eaux souterraines qui alimentent ce puits.

III – 1 – 3/ Evaluation des risques de contaminations

D'après les résultats de l'enquête que l'on a faite, 12,5% des puits étudiés présente une distance moins du 10m du latrine, représentant un puits sur huit (P7). Une latrine à proximité du puits peut nuire à la qualité de l'eau, particulièrement du point de vue bactériologique, à cause de la présence des coliformes et streptocoques fécaux.

Aucun d'entre eux possède une source de contamination fécale située en amont du puits. La contamination fécale située en amont du puits présente un risque pour le puits, surtout pendant la période de pluie, puisque les matières fécales peuvent contaminer la source d'eau. Tous les puits étudiés sont situés à moins de 10 m des sources de contaminations telles que les animaux, l'agriculture, les dépôts des lisiers, etc.

Tous les puits ne sont pas surmontés d'une margelle convenable. Les margelles existantes sont soit en brique couverte du ciment, d'une hauteur de 10 à 50 cm, soit tout simplement de deux pneus de voiture superposés, comme pour le puits P2 et P3.

Il existe également des couvercles pour certains puits, mais l'usage de ces couvercles se fait de manière négligeable puisque le puits peut ne pas être fermé pendant toute la journée malgré l'existence du couvercle.

Le seau de puisage est également entretenu de manière différente. Il est parfois déposé par négligence au sol, la corde à même le sol chez certains.

Pour le puits P1, le seau de puisage n'est pas unique. Or une corde et un seau sales peuvent facilement contaminer l'eau de puits. Les eaux de ces puits ne subissent plus de traitement directs dans les puits, alors que certains ménages utilisent des désinfectants (sûr eau), ou bouillir l'eau avant de la consommer.

La matrice ci-dessous représente les résultats d'évaluation des risques de contamination des eaux de puits collectées dont les lignes représentent les classements des

nombre des coliformes fécaux et les colonnes représentent les niveaux des risques de contamination.

Tableau 13. Zone de combinaison d'inspection des risques de contamination des puits et leur niveau de contamination par les coliformes fécaux

		Notes d'évaluation des risques de contaminations											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Classement des coliformes fécaux	D										P1 P5 P8	P2	
	C								P4		P3 P7		
	B									P6			
	A												
		Sans risque	Risque faible	Risque intermédiaire à élevé							Risque très élevé		

Tableau 14. Classification des nombres des coliformes fécaux pour l'approvisionnement en eau

Classe	Nombre/100ml	Risque
A	0	Valeur guide OMS, sans risque
B	1-10	Risque faible
C	11-50	Risque intermédiaire à élevé
D	>50	Pollution grave, risque élevé

D'après cette matrice, on a aperçu que 75% des puits étudiés sont situés dans le domaine du risque très élevé du point de vue sanitaire, les 25% restant sont dans le domaine des risques intermédiaires. On remarque que les puits ayant un degré du risque de contamination très élevé sont les plus affectés aux bactéries coliformes fécaux, il s'agit des puits P1, P2, P3, P5, P7 et P8. De ce fait, on peut constater que la contamination de ces puits par ces types des bactéries est en relation avec le degré du risque de contamination de ces puits.

Le tableau 15 suivant présente les différentes sources des coliformes fécaux de chaque puits.

Tableau 15. Les différentes sources des matières fécales des puits

Puits	Sources des matières fécales
P1	<ul style="list-style-type: none">– Utilisation des fumiers de porcs pour l'agriculture distante à 4 m en aval du puits– Accès des animaux au tour du puits (chiens, rats, volailles...)– Une latrine distante de 18m en aval du puits
P2	<ul style="list-style-type: none">– Elevage distante de 4m et même niveau du puits– Une latrine distante de 16m et en même niveau du puits– Accès des animaux au tour du puits
P3	<ul style="list-style-type: none">– Elevage distante de 8m et même niveau du puits– Accès des animaux au tour du puits– Une latrine distante de 14m et en même niveau du puits
P4	<ul style="list-style-type: none">– Stockage des fumiers du porc– Accès des animaux au tour du puits
P5	<ul style="list-style-type: none">– Utilisation des fumiers de porcs et des bovins pour l'agriculture distante de 5m en aval du puits– Accès des animaux au tour du puits
P6	<ul style="list-style-type: none">– Accès des animaux au tour du puits– Une latrine distante de 16,5m et même niveau du puits
P7	<ul style="list-style-type: none">– Une latrine distante de 9,5m et même niveau du puits– Accès des animaux au puits
P8	<ul style="list-style-type: none">– Accès des animaux au tour du puits– Infiltration des eaux de surface

III – 1 - 4/ Evaluation de la vulnérabilité

D'après les résultats des analyses des eaux de puits collectés et l'évaluation des risques potentiels de contamination de ces puits, on remarque que tous les puits étudiés sont très vulnérables face aux diverses sources de contaminations, particulièrement du point de vue bactériologique.

Les facteurs influençant cette vulnérabilité sont : la condition hydrogéologique et géologique du sol, la zone d'occupation et l'état des puits et l'hygiène sur l'environnement du puits.

III – 1 – 4 – 1/ La condition hydrogéologique et géologique du sol

D'après la caractérisation de la carte hydrogéologique de Madagascar (cf. annexe 5), on remarque que la nappe dans la zone d'étude est du type alluvionnaire. Cette nappe présente une faible profondeur (environ 5m), et non protégé car c'est une nappe de surface.

D'après la caractérisation de la carte géologique de Madagascar (cf. annexe 7), le sol

dans la zone d'étude est du type latéritique, perméable et poreux. Sa texture est grossière et facilite la circulation des contaminants très soluble dans l'eau vers la nappe tels que le nitrate et nitrite.

Ce facteur influence la vulnérabilité des nappes face aux activités atypique au niveau de la surface du sol.

III – 1 – 4 – 2/ La zone d'occupation et l'état des puits

A cause de l'insuffisance du terrain et de la cours, les propriétaires des puits ne respectent plus le retrait ou la distance minimale acceptable entre le puits et la source potentielle des contaminations.

Le système de construction de ces puits n'est pas conforme à la norme de la construction d'un puits protégé :

- Le couvercle est absent ou inadéquat
- La margelle est inadéquate ou inférieur à 30 cm
- Le trottoir et le drainage sont absents dans tous les puits
- La paroi de tous les ne sont pas scellés

Par conséquent, tous les puits sont vulnérables face aux sources potentielles des contaminations proches du puits.

III – 1 – 4 – 3/ L'hygiène de l'environnement du puits

Les puisatiers ne respectent pas l'hygiène sur l'utilisation du puits. Ils déposent le seau et la corde dans un endroit où ils peuvent contaminer, ils négligent l'existence du couvercle, ils ont laissés le puits ouvert pendant toute la journée. Ils se lavent les pieds, les vêtements à côté du puits. Il y a beaucoup de plantation aux tours du puits. Ils laissent les animaux à avoir accès sur le puits.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'évaluation des risques potentiels de contaminations et l'analyse de la qualité des eaux de puits dans la commune urbaine Ambatolampy, nous à permis d'avoir une connaissance sûrement incomplète de la vulnérabilité de ces puits face à la contamination et de savoir aussi la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau dans les huit puits étudiés, mais également d'appréhender de manière simplifiée les risques potentiels de vulnérabilité de ces eaux de puits.

D'après les résultats de l'évaluation des risques de contamination, presque tous les puits présentent des risques de contamination très élevés, deux puits sur huit seulement font partie de puits à risque élevé. Les résultats de ces analyses nous ont aussi montré que plusieurs échantillons sont jugés non potables selon les normes, malgré le fait qu'ils puissent avoir une apparence claire et limpide et n'avoir aucune odeur ou saveur. 37,5% des échantillons analysés possèdent des valeurs supérieures à la norme de potabilité Malgache (50mg/L) avec le nitrate. Un puits seulement est contaminé par le nitrite. La présence de ces paramètres toxiques est due par l'existence d'élevage proche du puits.

D'après les résultats bactériologiques, tous les puits sont contaminés par les coliformes totaux et fécaux. Plus de la moitié de ces puits (62,5%) sont contaminés par les streptocoques fécaux. La présence très élevée des germes indicateurs de la contamination fécale, ainsi que la présence certaine d'autres germes responsables d'infections transmises par l'eau, constituent sans doute une menace pour les habitants qui puisent l'eau nécessaire à la majeure partie de leurs besoins à partir de l'eau de ces puits.

L'évaluation simplifiée de la vulnérabilité des eaux de puits face aux différentes sources potentielles de contamination démontre que l'occupation et l'aménagement des zones d'habitation ne respectant pas les normes sécuritaires des sources d'eau constituent une source de menace sur la santé des usagers des eaux de puits.

Enfin d'y remédier ou d'atténuer ces menaces, les recommandations suivantes sont suggérées :

- Eliminer les sources de contamination des puits
- Faire une éducation sur l'hygiène pour les utilisateurs des puits
- Désinfecter les puits en utilisant de désinfectants (sûr eau), ou en faisant bouillir l'eau avant de la consommer
- Protéger le puits
- Arrêter la défécation à l'air libre

**REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES
ET
WEBOGRAPHIES**

Références bibliographiques

- 1/ FRANÇOIS Renard, « Cours d'hydrogéologie », 2014-2015, p4-5
- 2/ DE VILLERS Juliette, SQUILBIN Marianne, YOURASSOWSKY Catherine. Qualité physico-chimique et chimique des eaux de surface: cadre général Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement 2005
- 3/ Jean RODIER, «L'Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer », 9eme édition, 2011, p51, p52, p107, p590, p1243, p1329
- 4/ CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC.
Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants (fécaux) et confirmation à l'espèce Escherichia coli: méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – Fec.Ec 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 2014
- 5/ Docteur YVES Mong, RALOELISOA Andriamalala, « Pollution et dépollution des nappes et sols », 2013-2014.
- 6/ Razafitsiferana Théophile, Andrianainarivelo Mahandrimanana, Razanamparany Bruno : physicochemical Analysis of the water of Ampombilava Lake in the District of Nosy Be Madagascar, 2014.
- 7/ Affaires autochtones et Développement du Nord Canada Plan de protection des sources d'eau dans les réservoirs de premières nations, 2014
- 8/ B. Lemièrre, J.J.Seguin, C.LeGuern, D.Guyonnet, Ph.Baranger – Guide sur le comportement des polluants dans les sols et les nappes – février 2001, p17-23
- 9/ Centre for Affordable Water and Sanitation Technology, Introduction à l'analyse de Qualité de l'eau de boisson, 2013
- 10/ CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC.
Détermination de la conductivité : méthode électrométrique, MA. 115 – Cond. 1.1, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, 2012, p7.

- 11/CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC.
Détermination du pH : méthode électrométrique, MA. 100 – pH 1.1, Rév. 3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec, 2014, p11.
- 12/CENTRE D'EXPERTISE EN ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DU QUÉBEC.
Recherche et dénombrement des coliformes thermotolérants (fécaux) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 – Fec.Ec 1.0, Rév. 5, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec, 2014, p20.
- 13/ Société JIRAMA Ambatolampy, taux d'accès en eau potable dans la Commune Urbaine d'Ambatolampy, 2014.
- 14/Gisèle BAOK, Pollution des eaux et rivière et impact sur les populations riveraines : cas de la rivière Mgoua dans la zone industrielle de Douala Bassa, Master en gestion de l'eau option environnement, 2007
- 15/ RAKOTONINDRINA AndoniainaMamitiana « effet de l'entreprise financière Bank of Africa dans la commune urbaine ambatolampy », 2014, P34-39

Webographies

- 16/ http://www.ecosociosystemes.fr/propriétés_physicochimiques_eau.doc
- 17/ <http://fr.m.wikipedia.org/wiki/Turbidité>
- 18/ http://www.wikiwater.fr/e.28_les_divers_types_de_puits.html
- 19/ <http://en.m.wikipedia.org/wiki/polluant>
- 20/ <http://www.borddeleau.com/blog/a-propos-des-puits/>
- 21/ <http://www.forages-vacluse.fr/index.php/forages/je-veux-realiser-un-forage/usages-horsunifamilial/ouvrage-superieur-a-10m/usage-non-domestique>
- 22/ <http://www.futurasciences.com/magazines/environnement/infos/dico/d/developpement-durable-pollution-chronique-6887/>

ANNEXES

ANNEXE 1: Protocoles d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de puits

❖ MESURE DU pH

➤ Matériels

- Bêcher
- PH-mètre (325 WTW)

➤ Mode opératoire

On verse dans un bécher 100mL de l'échantillon, puis on place dans le bécher l'électrode de verre du pH-mètre et on met en marche le pH-mètre et on lit la valeur affichée sur l'écran lorsqu'elle est stable.

❖ DOSAGE DES NITRATES (NO₃)

Les nitrates forment du paranitrosalicylate de sodium en présence d'une solution de salicylate de sodium

➤ Réactifs

- Eau distillée
- Solution de tartrate double de sodium et de potassium
- Solution de salicylate de sodium (0,5%)
- Solution d'acide sulfurique concentré (98%).

➤ Mode opératoire

On prend 9 béchers telle que l'un contient le témoin et les huit restants numérotés de 1 à 8 contiennent les échantillons. On verse 10 mL d'eau distillée dans le bécher du témoin, et 10 mL de chaque échantillon dans les huit béchers restants. On ajoute 3 à 4 gouttes de la solution de NaOH et 1 mL de salicylate de sodium 0,5% dans chaque bécher, puis on évapore à sec entre 75°C à 80°C et on le laisse refroidir à la température ambiante. On ajoute 2 mL d'acide sulfurique concentré dans chaque bécher et on les agite jusqu'à dissolution totale, puis on attend 10 mn. On ajoute 15 mL d'eau distillée, puis 15 mL de tartrate double de sodium et de potassium. On attend jusqu'à refroidissement total, puis on effectue les au spectromètre à la longueur d'onde visible de 415 nm en utilisant le mélange de l'eau distillée comme témoin.

❖ DOSAGE DES NITRITES (NO₂)

➤ Réactifs

- Eau distillée
- Solution de sulfanilamide
- Solution de N-1-naphthylethylènediamine

➤ Mode opératoire

- Prendre 50 ml : eau distillée, des échantillons d'eaux, on les met dans 9 béchers telle que l'un contient du témoin qui est l'eau distillée et les huit restants numérotés de 1 à 8 contiennent des échantillons.
- Ajouter 1 ml de sulfanilamide dans chaque eau, et attendre 5 mn
- Ajouter 1 ml de N-1-naphtylethylènediamine, Attendre 30 mn en mettant les échantillons à l'obscurité (incubation)
- Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde visible de 543 nm en utilisant le mélange de l'eau distillée comme témoin

❖ DOSAGE DES IONS PHOSPHATES (SO₄²⁻)

➤ Réactifs

- Eau distillée
- Acide ascorbique
- Réactif combiné

➤ Mode opératoire

- Prendre 20 ml d'eau distillée et 20 ml des échantillons, les mettre dans des fioles jaugées de 25 ml
- Ajouter 1 ml d'acide ascorbique et agiter
- Ajouter 4 ml du réactif combiné et agiter
- Attendre 30 mn d'incubation pour que sa coloration s'affiche
- Effectuer les lectures au spectromètre à la longueur d'onde visible de 880 nm en utilisant le mélange de l'eau distillée comme témoin.

❖ DOSAGE DES IONS CHLORURES (Cl⁻)

➤ Matériels

- Erlenmeyer 100 ml
- Pipettes 5 ml et 2 ml
- Burette

➤ **Réactifs**

- Solution de thyocyanate d'ammonium (0,1mol/L)
- Solution de sulfate d'ammonium et de fer
- Solution d'acide nitrique concentrée 68%
- Solution de nitrate d'argent (0,1mol/L)

➤ **Mode opératoire**

- Après rinçage avec l'eau distillée, mettre dans la burette graduée la solution de thyocyanate d'ammonium et ajuster jusqu'au trait zéro.
- Mettre dans l'erlenmeyer 50 ml de l'échantillon, ensuite y verser successivement les quantités des réactifs suivants :
 - 1) 2 ml sulfate d'ammonium et de fer
 - 2) 5 ml d'acide nitrique concentré 64%
 - 3) 5 ml du nitrate d'argent
- Titrer le mélange précédent avec la solution de thyocyanate d'ammonium jusqu'à la transformation de la couleur en rose orangé
- Pour chaque échantillon et aussi l'eau distillée, refait la même procédure.

➤ **Remarque**

- V_0 : volume du thyocyanate d'ammonium versé pour l'eau distillée
- V_1 : volume du thyocyanate d'ammonium versé pour l'échantillon
 - ✓ Si $V_0 = V_1$: absence des ions chlorures
 - ✓ Si $V_0 < V_1$: Trace
 - ✓ Si $V_0 > V_1$: existence des ions chlorures

➤ **Expression des résultats**

- $[Cl^-] = \frac{V_0 - V_1 * 5,85 * 35,5 * 1000}{50 * 58,5} \text{ (mg/L)}$ ou
- $[Cl^-] = 71 * (5 - V_{\text{thyo}}^{\text{versé}}) \text{ (mg/L)}$

❖ **MESURE DE L'ALCALINITE**

➤ **Réactifs**

- HCl ou H₂SO₄ N/50
- Solution de phénolphtaléine dans l'alcool à 50%
- Solution de méthylorange à 5%
- Eau distillée

➤ **Mode opératoire**

1) Détermination du TA

- Remplir la burette par l'acide sulfurique H_2SO_4 N/50
- Mettre 100 ml d'eau à analyser dans un bêcher
- Mesurer le pH de cette eau à l'aide d'un pH-mètre, si le pH est inférieur à 8,3, alors le TA est nul ($\text{TA}=0$). Dans le cas contraire ($\text{pH} > 8,3$), verser doucement l'acide sulfurique (H_2SO_4) N/50 dans le bêcher à l'aide d'une burette, en agitant constamment jusqu'au pH est égale à 8,3
- Soit V le nombre de ml d'acide utilisés pour obtenir ce pH.

2) Détermination du TAC

- Utiliser l'échantillon traité précédemment ou le prélèvement primitif.
- Titrer de nouveau avec le même acide jusqu'au $\text{pH} = 4,3$
- Soit V' le nombre de ml d'acide N/50 versés depuis le début du dosage

➤ **Expression des résultats**

- V/5 : exprime le TA en méq/L
- V : exprime le TA en °F
- V'/5 : exprime le TAC en méq/L
- V' : exprime le TAC en °F

ANNEXE 2 : Protocole d'analyse des paramètres bactériologiques des eaux de puits

❖ ANALYSE DES COLIFORMES FECAUX

➤ Réactifs

- Eau distillé
- Milieu de culture : térgitol 7 et T.T.C

➤ Mode opératoire

On a prélevé un volume de 100mL de l'échantillon (solution mère), puis on l'a filtré sous vide à travers une membrane poreuse de 45µm de diamètre, après homogénéisation. Pour le dénombrement des coliformes fécaux, chaque membrane a été placée dans un milieu contenant de la gélose lactosée au térgitol 7 et au T.T.C. (1,3,5-triphényltétrazolium chlorure), et incubée à 44°C pendant 24 heures puis les colonies de couleur jaune à jaune orangé formées on été comptées.

❖ ANALYSE DES COLIFORMES TOTAUX

➤ Réactifs

- Eau distillé
- Milieu de culture : térgitol 7 et T.T.C

➤ Mode opératoire

On a prélevé un volume de 100mL de l'échantillon, puis on l'a filtré sous vide à travers une membrane poreuse de 45µm de diamètre, après homogénéisation et dilutions décimales. Pour le dénombrement des coliformes totaux, chaque membrane a été placée dans un milieu contenant de la gélose lactosée au térgitol 7 et au T.T.C. (1,3,5-triphényltétrazolium chlorure), et incubée à 37°C pendant 24 heures puis les colonies de couleur jaune à jaune orangé formées on été comptées.

❖ ANALYSE DES STREPTOCOQUES FECAUX

➤ Réactifs

- Eau distillé
- Milieu de culture : m-entérocoque agar

➤ Mode opératoire

On a prélevé un volume de 100mL de l'échantillon, puis on l'a filtré sous vide à travers une membrane poreuse de 45µm de diamètre, après homogénéisation et dilutions décimales. Pour le dénombrement des streptocoques fécaux, chaque membrane a été placée

dans un milieu m-entérocoque agar, et incubée à 35°C pendant 24 heures puis les colonies de couleur violet formées on été comptées.

ANNEXE 3 : Résultats des analyses des paramètres physico-chimiques des eaux de puits

Paramètres	Résultats								Norme de potabilité malagasy	Unité
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8		
Conductivité	144,5	1061	1163	332	232	227	155,4	176,4	< 3000	µm/cm
Turbidité	3,21	1,10	2,06	0,59	2,52	2,96	2,09	1,00	< 5	NTU
pH	6,16	5,38	5,81	5,55	6,40	5,77	6,00	5,96	6,5 – 9,0	
Chlorure	4,26	123,54	140,58	52,54	48,28	70,54	227,2	225,78	< 250	mg/L
Sulfate	0,79	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	< 250	mg/L
Nitrate	12,53	312,56	187,47	58,70	8,72	39,26	1,35	4,84	< 50	mg/L
Nitrite	Trace	0,045	Trace	Trace	0,055	0,5	Trace	Trace	< 0,1	mg/L
Phosphate	0,053	0,064	0,059	0,24	0,053	0,043	0,101	0,075	<0,5	mg/L
T.A	0	0	0	0	0	0	0	0		még/L
T.A.C	0,44	0,16	0,32	0,48	0,52	0,45	0,69	0,5		még/L
Matières organiques	0,05	0,25	0,16	0,23	0,15	0,1	0,02	0,15	< 2 (milieu acide)	mg d'O ₂ /L
Oxygène dissous	56,20	43,63	43,04	50,61	48,50	39,57	43,43	41,89	<75	% de saturation

ANNEXE 4 : Tableau de conversion de la concentration de l'oxygène dissous (mg/L) en pourcentage de saturation

La conversion de la concentration de l'oxygène dissous (mg/L) en pourcentage de saturation se fait à l'aide d'un ordinateur grâce au Microsoft Excel, en utilisant la formule de conversion ci-dessous.

Tableau. Tableau de conversion de l'O₂ dissous (mg/L) en pourcentage de saturation

	t°	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)
P1	20.00	7.44	100.00
P2	22.90	4.83	56.20
P3	22.90	3.75	43.63
P4	22.60	3.72	43.04
P5	24.00	4.26	50.61
P6	23.90	4.09	48.50
P7	23.70	3.35	39.57
P8	23.50	3.69	43.43

➤ Formule de conversion

O₂ (mg/L) = 1,429 mL/L

Alors

$$O_2 (\%) = 100 (mL/L) / (0,0223916 \cdot \exp\{-135,90205 + (1,575701 \cdot 105) / (t + 273,15) - (6,642308 \cdot 107) / (t + 273,15)^2 + (1,243800 \cdot 1010) / (t + 273,15)^3 - (8,621949 \cdot 1011) / (t + 273,15)^4 - S \cdot [0,017674 - 10,754 / (t + 273,15) + 2140,7 / (t + 273,15)^2]\})$$

ANNEXE 5: Carte hydrogéologique de Madagascar



Bassin sédimentaire du Nord-Ouest

a) Nappe d'alluvions
Débit Q/S = 85 l/s/m
Hauteur d'eau 10 m
Profondeur faible
Eau bicarbonatée, avec Fe

b) Nappe de sables et terrains récents
Débit Q/S = 2-15 l/s/m
He = 5-10 m
Profondeur faible
Eau peu carbonatée, faiblement inérialisée

c) Nappe de l'Eocène calcaire karstique
Débit Q/S = 27-63 l/s/m
He = 50 m ; profondeur moyenne 20-100 m ; eau bicarbonatée calcique - magnésienne

d) Nappe du Crétacé
Débit Q/S = 5-60 l/s/m
He = 100 m, profondeur élevée
Eau agressive, riche en Fe

e) Nappe karstique du Jurassique
Débit pouvant être artésien
He = 10-50 m, profondeur élevée
Eau bicarbonatée-magnésienne

f) Nappe de l'Isalo
Débit Q/S = 0,2 l/s/m
He = 5 m, profondeur moyenne
Eau chlorurée sodique

Bassin sédimentaire d'Antsiranana

a) Nappe d'alluvions
Débit Q/S = 0,7-2 l/s/m
He = 5-10 m
Profondeur faible
Eau bicarbonatée calcique

b) Nappe de sables et terrains récents
Débit Q/S = 7-2 m³/s/m
He = 5-10 m
Profondeur faible à moyenne
Eau à minéralisation moyenne

c) Nappes de formations volcaniques
Débit Q/S = 10 m³/s/m
Hauteur d'eau moyenne
Profondeur faible à moyenne 10-50 m
Eau bicarbonatée calcique

Hauts Plateaux cristallins et cristallophyliens

a) Nappe d'alluvions
Débit Q/S = 3-6 l/s/m
He = 10 m, profondeur faible 5 m
Eau peu minéralisée

b) Nappes d'altérites
Débit faible
He variée, profondeur moyenne
Eau bicarbonatée sodique, faiblement minéralisée

c) Nappe d'arènes-socle
Débits Q/S = 1-2 l/s/m
He et profondeur variées
Eau bicarbonatée calcique - magnésienne, moyennement minéralisée

Bassin sédimentaire de l'Est

a) Nappe d'alluvions
Débit Q/S = 11-23 l/s/m
He = 5-10 m, profondeur faible
Eau riche en Fe

b) Nappe de sables et de dunes
Débit Q/S = 0,50-6 l/s/m
He = 5-10 m, profondeur faible
Eau riche en Fe, exposée à l'invasion marine

c) Nappe du Crétacé
Débit Q/S = 0,18 l/s/m
He = 40 m, profondeur faible
Eau bicarbonatée sodique, assez minéralisée

Bassin sédimentaire du Sud-Ouest

a) Nappe d'alluvions
Débit Q/S = 1,7-2,5 l/s/m
He = 10 m
Profondeur faible <20 m
Eau bicarbonatée calcique

b) Nappe de sables et terrains récents
Débit Q/S = 0,04-2 l/s/m
He = 5-10 m
Profondeur faible à moyenne
Eau peu carbonatée, présence de NaCl

c) Nappe karstique de l'Eocène
Débit Q/S = 0,5-30 l/s/m
He = 50 m
Profondeur moyenne à élevée 20-100 m
Eau bicarbonatée calcique

d) Nappe du Crétacé
Débit Q/S = 1-14 l/s/m
He = 50 m, profondeur 150 m
Eau bicarbonatée calcique, présence de Fe

e) Nappe karstique du Jurassique
Débit pouvant atteindre 240 l/s/m
Profondeur jusqu'à 400 m et plus
Eau bicarbonatée calcique

f) Nappe de l'Isalo
Débit Q/S atteignant 230 l/s/m, source artésienne
He = 100-200 m
Profondeur élevée 150 m
Eau bicarbonatée sodique

Extrême Sud

a) Nappe d'alluvions
Débit Q/S = 11,8 l/s/m à Menarandra; He = 5 m
Profondeur faible <20 m
Eau fortement minéralisée

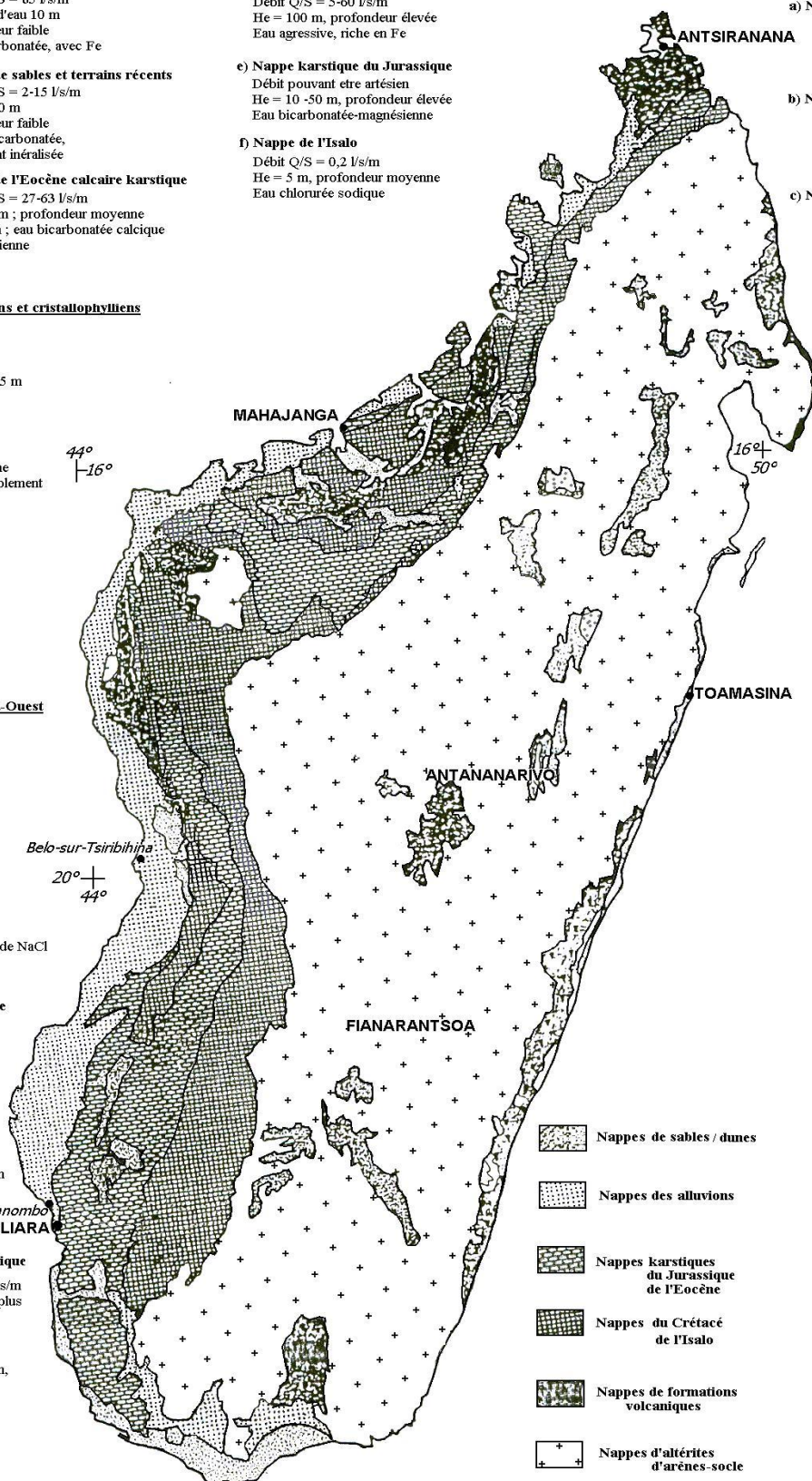
b) Nappe de sables de Beloha
Débit Q/S = 0,17 l/s/m
He = 5 m
Profondeur faible 1 à 5 m
Eau bicarbonatée

c) Nappe de sables côtiers et de dunes récentes
Débit Q/S = 0,4-2,6 l/s/m
He = 1-5 m
Profondeur faible 1-5 m
Eau saumâtre à salée

d) Nappe du Quaternaire récent d'Ambovombe
Débit Q/S = 0,016-4 l/s/m
He = 1-5 m, profondeur 10-20 m
Eau à faciès très varié

e) Nappe du Quaternaire ancien
Débit Q/S = 0,04-055 l/s/m
He = 1-10 m
Profondeur moyenne 50-100 m
Eau assez minéralisée, salée

f) Nappe du Néogène
Débit Q/S = 0,02-1,55 m
He = 1-5 m
Profondeur moyenne 50-150 m
Eau salée, très minéralisée



ANNEXE 6: Formulaire d'inspection sanitaire : puits creusé ouvert

Partie 1. Informations générales

- a. Lieu :
- b. Village / Municipalité :
- c. Nombre de personnes qui utilisent le puits :
.....
- d. Échantillon d'eau prélevé ? Numéro d'échantillon :
.....
- e. Date de la visite :

Partie 2. Évaluation des risques

Entourez la réponse la plus appropriée. Répondre « oui » s'il y a un risque potentiel et « non » s'il y a un risque nul ou très faible. Voir les explications au verso.

Observation

1. Y a-t-il une latrine à moins de 10 m du puits ?Oui/Non
2. Y a-t-il une latrine ou une autre source de contamination fécale en amont du puits?Oui/Non
3. Y a-t-il une autre source de contamination à moins de 10 m du puits (Animaux, agriculture, routes, industries, etc.) ?Oui/Non
4. Est-ce que le drainage est absent ou défectueux permettant à l'eau de s'accumuler à moins de 2 m du puits ?Oui/Non
5. Est-ce que le canal de drainage est absent ou fissuré, cassé ou nécessite d'être nettoyé ?Oui /Non
6. Est-ce que le mur (parapet) qui est autour de la partie supérieure du puits est inadéquat, ce qui permet aux eaux de surface d'entrer dans le puits ?Oui/Non
7. La dalle autour du forage mesure-t-elle moins de 2 mètres de diamètre ?Oui/Non
8. Est-ce que les murs du puits sont mal scellés dans un point ou dans plusieurs points à 3 m sous terre ?Oui/Non
9. Est-ce que la dalle du puits est fissurée ou endommagée ?Oui/Non
10. Est-ce que la corde et le seau sont laissés dans un lieu où ils peuvent être contaminés ?Oui/Non
11. Est-ce que la clôture autour du puits est inadéquate ?Oui/Non
12. Le village est-il SDAL ?Oui/Non

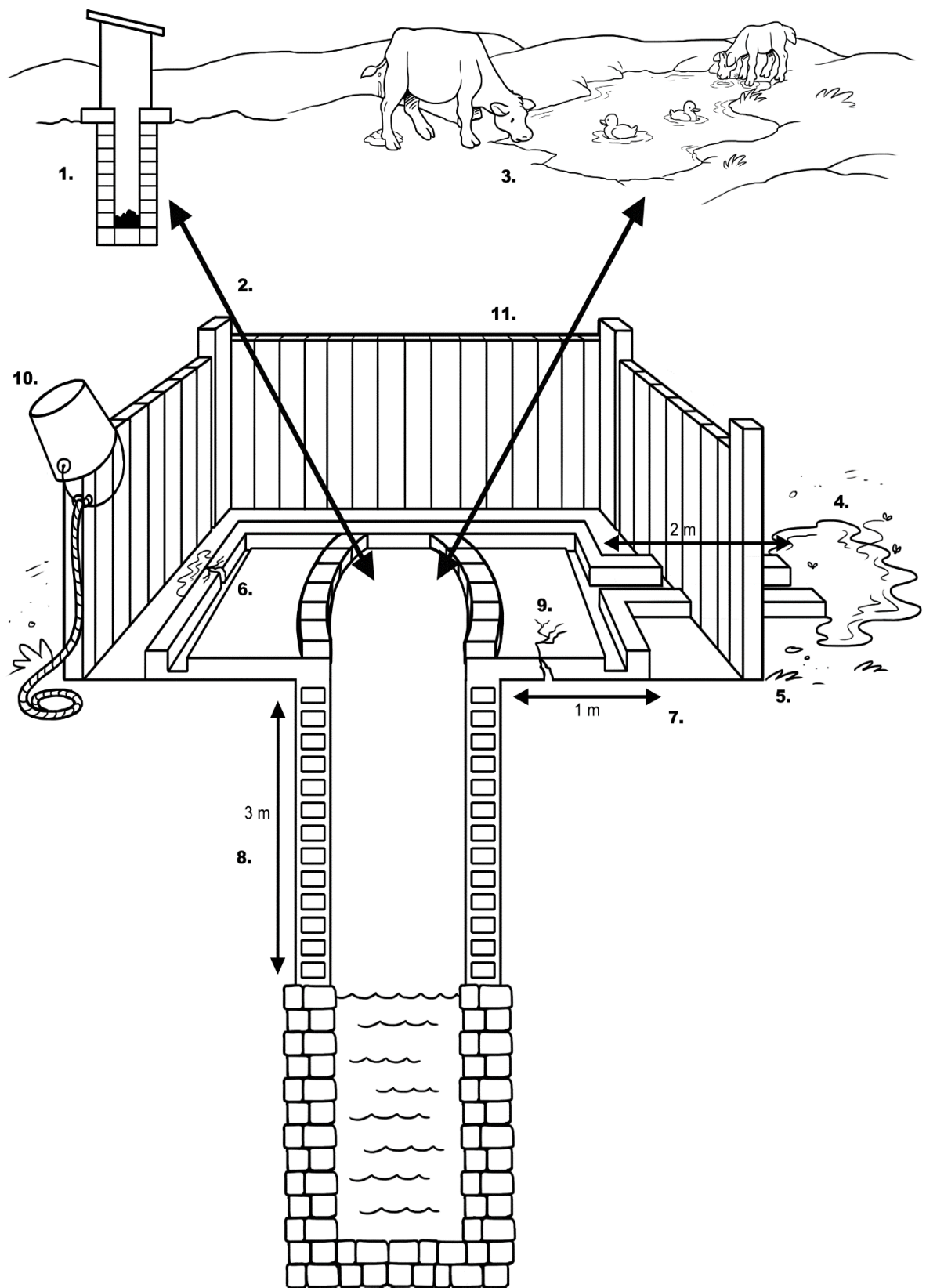
Risque de contamination (ajouter le nombre de réponses positives) : / 12

Partie 3. Résultats et commentaires :

- a. Risque de contamination (cocher la case appropriée) :

9-10 = Trèsélevé	6-8 = Élevé	3-5 = Moyen	0-2 = Faible

- b. Les risques suivants ont été observés



ANNEXE 7. Carte géologique de Madagascar

MADAGASCAR GEOLOGIE (d'après H. Besaire)



E : 1 : 7.000.000

Source : "LES ENSEMBLES MORPHOPEDELOGIQUES DE Mcar"
M. RAUNET, Mars 1997, CIRAD, ONE, ANAE

LEGENDE

Signes particuliers :

- Faille ou érosion régressive à cuesta
- Escarpement
- Escarpement
- Faille ou érosion régressive à cuesta
- Grands escarpements montagneux

SOCLE PRECAMBRIEN :

Système de l'Androy

- Gneiss, leptynites, pyroxénites, cipolins

Système du graphite

- Gneiss, migmatites, micaschistes, leptynites

Série Schisto-quartzocalcaire

- Cipolins
- Quartzites

Système du Vohibory

- Amphibolites, micaschistes, schistes verts, gneiss

Zone granitisées

- Granites migmatitiques stratoides

Roches intrusives

- Gabbros
- Granites

ROCHES SEDIMENTAIRES :

Carbonifère

- SAKOA Schistes, tillites (faciès continental)

Permo-trias

- Marnes, schistes (faciès marin)
- SAKAMENA Schistes, pélites (faciès continental)

Trias

- ISALO I grès (faciès continental)

Jurassique inférieur

- ISALO II grès, argiles (faciès continental)

Jurassique moyen

- Calcaires, marno-calcaires (faciès marin)
- ISALO III grès, marnes, gypse (faciès mixte)

Jurassique supérieur

- Grès, marnes, gypse, grès, calcaires (faciès marin)

Cretacé inférieur et moyen

- Grès dominants (faciès continental)

Cretacé supérieur

- Calcaires, calcaires marneux (faciès marin)
- Grès, grès argileux (faciès continental)
- Margnes (faciès marin)
- Sables, grès, argiles, marnes, calcaires (faciès mixte)

Eocène

- Calcaires (faciès marin)

Pliocène

- Epanchages sablo-gréseux (faciès continental)
- Alluvions lacustres (faciès continental)

Quaternaire ancien

- TATSIMIEN grès calcaires, sables dunaires (faciès mixte)

Quaternaire moyen

- KARIMBOLIEN grès calcaires, sables dunaires (faciès mixte)

Quaternaire récent

- Alluvions fluvio-marines (faciès mixte)
- Alluvions (faciès continental)
- FLANDRIEN cordons (faciès continental)

ROCHES VOLCANIQUES :

Crétacé

- Basaltes (et rhyolites)

Tertiaire et quaternaire ancien

- Basaltes (et trachytes)

Quaternaire moyen

- Basaltes (et rhyolites)

Quaternaire récent

- Basaltes

**Titre : « Etudes de la vulnérabilité des eaux de puits dans la
Commune Urbaine Ambatolampy »**

LAHATRA Andrianjafimanana

Lot II F 34 VY A Ter Andraisoro

Tel: 0332425333

Email: lhtrandry@gmail.com

Nombre de pages : 44, Nombre des tableaux : 15, Nombre de figures : 22



RESUME

Ce travail, concernant l'étude de la vulnérabilité des eaux de puits dans la commune urbaine Ambatolampy, a pour objectif d'avoir une meilleure connaissance sur la vulnérabilité de ces puits face à la contamination et sur le risque sanitaire lié à leur utilisation. Les puits étudiés sont des puits de surfaces et leur risque de contamination est très élevé. En effet, les résultats de cette étude montrent que trois puits parmi les huit prospectés sont vulnérables face à la contamination par le nitrate. Il s'agit des puits P2, P3 et P4. Les valeurs de la concentration de nitrate dans ces trois puits varient entre 58 et 312,56 mg/L. Par ailleurs, un de ces puits a une concentration en nitrite excédant la norme de potabilité de 0,1 mg /L. Ces puits présentent aussi une forte contamination bactériologique en coliformes totaux et en coliformes fécaux. Par contre les streptocoques fécaux sont présents dans un seul puits, le puits P4.

Ces puits présentent un risque sanitaire potentiel important pour tous ceux qui les utilisent comme source d'eau pour la consommation domestique, en particulier les enfants de bas âge (moins de 5 ans).

Mots-clés : Puits, vulnérabilité, contamination, risque sanitaire

ABSTRACT

The surveyed wells are mostly dug wells from which consumption put users at high-health risk. With this end in view, the results of the study that three of the eight surveyed dug wells are vulnerable to nitrate contamination. It concerns the well P2, P3, and P4. The concentration of nitrate varies 58 and 312,56 mg/L. To be also, high lighted the exceeding level of nitrite from one of the well compared to the standard value of 0,1 mg/L. Furthermore, all surveyed dug well are highly contaminated from bacterial point of view. All samples high level of total and fecal coliforms. Fecal streptococci were found in sample from the dug well P4.

Consumption of water from there wells without any kind of disinfection may lead to health risk, particularly for children under age of 5.

Keywords: Well, vulnerability, contamination, health risk

Encadreur: Docteur MONG Yves Jean Michel, Maître de Recherche