

Etude d'impact de la pollution fécale sur l'environnement et la qualité des eaux en milieu défavorisé – cas de Belanitra

Jaconnet Oliva Andrianaivoravelona, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Génie chimique, BP 1500 Antananarivo 101, E-mail : jaconnetoliva@gmail.com

Jean de Dieu Ramarason, Département Matériaux et Génie Civil, Centre National de Recherches Industrielle et Technologique, BP 6294 Fiadanana/Tsimbazaza Antananarivo 101

Mbololontsoa Sendrahasina Ranaivojaona École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Génie chimique, BP 1500 Antananarivo 101

Rijalalaina Rakotosaona, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Génie chimique, BP 1500 Antananarivo 101

Lovy Rasolofomanana, Water Aid, lot IVR 19 bis, BP 6082 Antanimena Antananarivo 101

Lala Andrianaivo, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Ingénierie Pétrolière, BP 1500 Antananarivo 101

Phillipe Andrianary, École Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, Département Génie chimique, BP 1500 Antananarivo 101

Résumé

Le Fokontany de Belanitra, Commune rurale d'Ankadikely Ifafy est confronté aux problèmes de gestion des excréta. Des enquêtes ont été menées auprès des ménages afin de distinguer les contaminations d'origine anthropique et des concentrations naturelles. Des échantillons ont été prélevés et analysés. Les résultats des analyses bactériologiques et physico-chimiques ont été comparés aux normes nationales pour en déduire les degrés de contamination fécale des eaux traitées, des eaux (eau de puits, eaux superficielles, eau résiduaire). Le flux d'émission de ces contaminants organiques est très rémanent car la défaillance du système d'assainissement est caractéristique des zones défavorisées. La contamination fécale est aussi due au manque d'étanchéité des puits traditionnels, mais surtout à la pratique de la défécation à l'air libre. Pour réduire les expositions, les mesures prioritaires sont les réductions des émissions pertinentes puis la dépollution des milieux contaminés. Cependant, dans le contexte de crise socio-économique actuelle, la pratique de la défécation à l'air libre paraît inévitable. Mais leur réduction à des niveaux acceptables pour la société est un objectif possible à atteindre.

Mots clés : Contamination fécale, bactériologiques, physico-chimique, eaux traitées, puits, rejet liquide domestique, assainissement, défécation à l'air libre, dépollution.

Abstract

The Fokontany of Belanitra, farming Township of Ifafy Ankadikely, district of Avaradrano Antananarivo is confronted to the management problems of excreted them. The concentrations of faecal contaminants measured in the environment are needed for the analysis of the current state of the environment. Indeed, only measures reflect the actual fecal contamination of water and the overall exposure of the inhabitants of Belanitra. Of household surveys were conducted to distinguish anthropogenic contamination of natural concentrations. These biological and physico-chemical results will be measured back to national and international standards (WHO) to derive levels of fecal contamination of treated water, well water and surface water including domestic sewage discharge and the river Mamba. The emission flux of these organic pollutants is very volatile, it failed to sanitation is characteristic of deprived areas. However, in the context of current socio-economic crisis, the practice of defecating in the open air seems inevitable. But their reduction to acceptable levels for the company is an attainable goal. As part of the fight against defecating in the open air, it is essential to prote.

Keywords: Fecal contamination, bacteriological, physicochemical, processed water, wells, domestic waste rejection, sanitation, disadvantaged, defecating in the open air .

1. INTRODUCTION

La pratique de la défécation à l'air libre est encore partout à Madagascar : sur les plages, les bords de la route, les lacs, les rivières, les canaux, les dalles, les ordures, les terrains de jeu,... Elle fait partie du mode de vie de la population. Pourtant cette attitude affecte la qualité de l'environnement par la présence des odeurs nauséabondes et des saletés importantes ayant pour conséquence notoire la fragilité de l'hygiène.

Malgré les efforts pour l'adoption de la bonne pratique de l'hygiène et de l'assainissement approprié à Madagascar depuis 2008 (Code de l'eau), 47% de la population malagasy n'ont pas encore accès aux services d'assainissement de base et d'hygiène adéquats, particulièrement en zone défavorisée.

Sur le plan politique national de l'assainissement à Madagascar, qu'en est-il des normes adéquates particulièrement sur la gestion de l'évacuation de l'excréta? Le manque de données scientifiques pour l'élaboration d'un processus de professionnalisation des acteurs du secteur Eau, Assainissement et Hygiène amoindrit la crédibilité auprès des autorités, des partenaires techniques et financiers ainsi qu'auprès de la population elle-même [OMS 2004, Rakotoniaina 2012, Rasolofomanana 2012].

Le rejet des eaux usées incluant les eaux noires augmente sans cesse, en raison principalement de l'accroissement continu de la population et du processus d'urbanisation rapide. Cependant, la population pauvre urbaine et périurbaine des grandes villes réutilisent ces rejets en tant que ressource en eau, tributaires pour leur survie de productions agricoles (culture maraichère, riziculture, cressiculture et pisciculture, etc.). Néanmoins, cette pratique comporte des risques sanitaires importants.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) «La qualité de l'environnement et la nature du développement sont des facteurs essentiels de la santé».

Ce sont les raisons qui nous ont poussées à effectuer l'étude d'impact de la pollution fécale sur l'environnement et la qualité des eaux en milieu défavorisé. Elle a été menée dans le fokontany de Belanitra, Commune rurale d'Ankadikely Ilafy, district d'Antananarivo Avaradrano, région Analamanga. Le but est d'introduire une approche qui tienne compte de toute la chaîne d'évacuation des matières fécales, mais pas seulement de la phase où elles sont à l'état de déchet, pour la réduction des incidences de la contamination fécale des eaux, ce qui permettrait de renforcer la valeur économique des déchets.

Pratiquement, l'étude nous a permis d'évaluer l'influence de la pollution fécale sur l'environnement notamment la qualité des eaux utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine par des analyses bactériologiques et physico-chimiques dans la zone de Belanitra afin d'atténuer les risques sur la santé de la population et l'environnement.

Objectif :

Evaluer par des analyses bactériologiques et physico-chimiques le niveau de la pollution des eaux (eaux potables, eaux usées, eaux souterraines et eaux de surface) par les excréta, dans le fokontany de Belanitra.

2. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

2.1. Localisation et situation géographique

Le Fokontany de Belanitra est l'une des 18 Fokontany de la Commune rurale de première Catégorie d'Ankadikely Ilafy, dans le district d'Antananarivo Avaradrano, de la région Analamanga. Belanitra possède 36,7 km² de superficie. Il se situe à 8 km de la Mairie vers le Sud-Ouest.

Belanitra est limité par :

- la Commune rurale de Sabotsy Namehana au Nord ;
- le Fokontany de Soavimasoandro au Sud ;
- les Fokontany d'Antaninanandrano et Ambohipanja à l'Est;
- le Fokontany d'Ambohijanahary à l'Ouest.

La photo satellitaire suivante (Figure 1) montre la situation géographique et la délimitation de la zone d'étude :

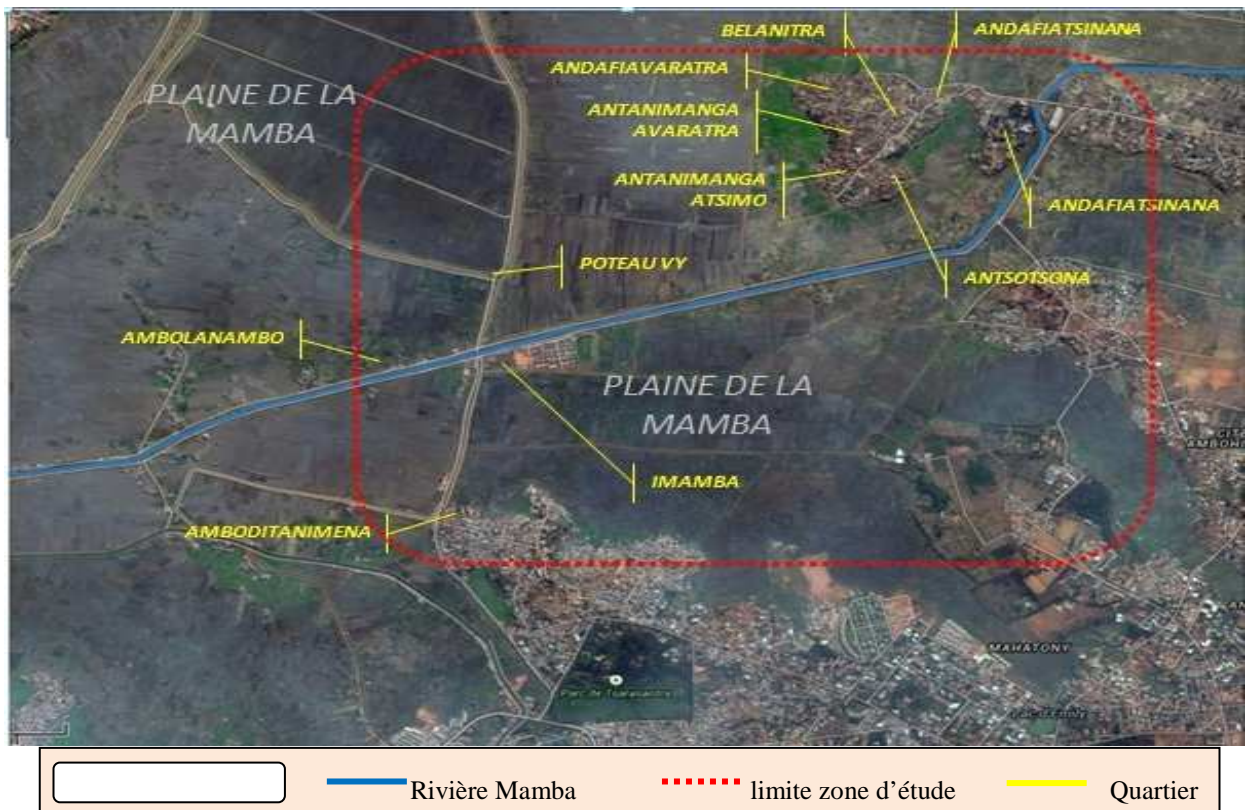


Figure 1 : Délimitation de la zone d'étude

2.2. Milieu physique

Une partie de Belanitra se trouve sur la plaine de l'Imamba, un relief très plat, en dessous du niveau de la rivière Imamba avec une nappe phréatique affleurante [Enda OI/Gret 2010 ; Artelia Internatioanl 2014]. Malgré la construction d'une digue de protection, les villages riverains sont victimes de fréquentes inondations pendant la saison de pluie. De plus, les canaux primaires d'évacuation des eaux usées traversent les villages constituant le fokontany et facilitent le débordement après de fortes pluies.

En réalité, par rapport au code de l'urbanisme de 1963, remis à jour en 1969, cette zone est classée non habitable, les constructions ne sont pas autorisées. Ainsi, les loyers plus abordables favorisent les mouvements migratoires vers cette zone.

En effet, la superficie de cette zone inondable représente 3,8 ha de la totalité de la plaine de l'Imamba et Belanitra. En moyenne, 6 foyers par mois s'immigrent vers Belanitra en 2013.

La seule ressource en eau courante de la zone d'étude est la rivière de l'Imamba qui est un affluent de l'Ikopa.

L'Imamba prend sa source au Nord-Est d'Ankadikely Ilafy et se déverse dans l'Ikopa à Anjantelo, elle s'étend sur 18 km au sein de la zone de Belanitra, avec un débit moyen de $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en étiage.

Elle est utilisée à plusieurs fins sociales de l'amont à l'aval : eau d'arrosage des cultures maraichères, d'irrigation des rizières, de déversement des eaux résiduaires d'usines, de transport, de lavage, d'abreuvement des élevages, de lessive de la population environnante. Mais le plus important est le déversement direct des eaux résiduaires domestiques des ménages bordiers, incluant les eaux vannes.

2.3. Caractéristique socio-économique

2.3.1. Milieu humain

La situation démographique du Fokontany de Belanitra est reflétée par le tableau 1 ci-après.

Tableau 1 – Situation actuelle de la population du Fokontany de Belanitra

Nombre de population total :	7.300 habitants
Densité moyenne :	1.209 habitants/km ²
Nombre de foyers :	1.847 foyers
Nombre de toits :	704 toits
Taille moyenne des foyers :	4 personnes

Source : Chef Fokontany Belanitra, 2013

La structure sociale est plutôt caractérisée par des ménages multi familiales. Un ménage constitue 2 à 4 foyers cohabitants sous un même toit utilisant les mêmes infrastructures sanitaires : douche et latrine mais ont leur propre cuisine et chef de ménage.

2.3.2. Situation économique

Comme Belanitra se trouve en milieu suburbain, sa situation économique est encore basée sur les activités agricoles.

- Situation de l'élevage : plus de 80% des ménages à Belanitra pratiquent des élevages à cycle court pour renforcer leur revenu annuel.
Le cheptel avicole de Belanitra représente 43% du cheptel total de la Commune rurale d'Ankadikely Ifafy. Ceci est dominé par l'élevage de canards en rizière.
- Situation de l'agriculture : La riziculture de bas fond occupe 3,8 ha soient plus de la moitié de la superficie de Belanitra.

Les calendriers culturaux sont reliés à la disponibilité en eau, ainsi les cultures maraichères se pratiquent en contre saison le long de la digue de l'Imamba ou irrigués par l'évacuation des eaux usées (Figure 2).



Figure 2- Réutilisation des eaux usées à Imamba

2.4. **Mode et pratique d'accès à l'eau potable, à l'assainissement et à l'hygiène**

2.4.1. Accès à l'eau potable

Les ressources en eau pour la préparation des aliments et la boisson des 7 300 habitants sont principalement :

- les 2 bornes fontaines alimentées par le réseau de la JIRAMA ;
- les 110 puits traditionnels.

En 2013, 103 puits individuels et 7 collectifs ont été recensés avec une profondeur moyenne de 12,5m. Selon le Chef Fokontany de Belanitra, 93% de la population ont accès à l'eau pour la consommation humaine. Ce taux d'accès est réparti comme suit :

- Moins de 3% des ménages sont alimentés en eau par le branchement particulier utilisant la source de la JIRAMA et les travaux sont appuyés par CARE Madagascar ;
- Plus de 13% des ménages ont accès aux bornes fontaines publiques ;
- 30% des ménages utilisent uniquement les puits (puits individuels et collectifs inclus) ;
- les 47% restants sont mixtes.

2.4.2. Problème de la santé lié à l'assainissement et à l'hygiène

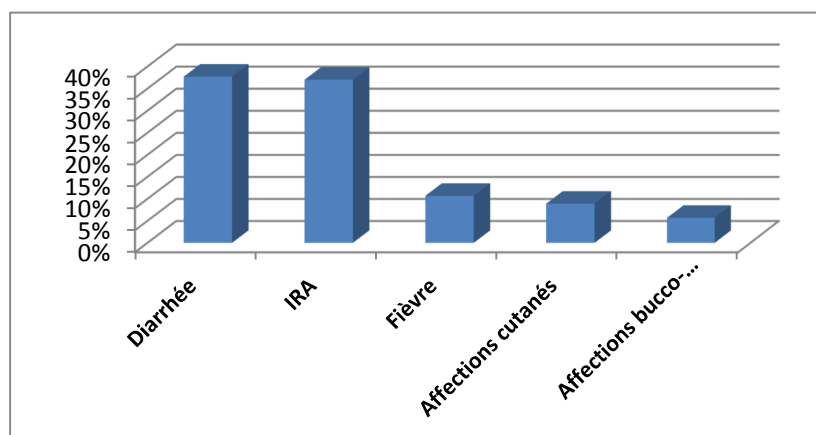
L'assainissement autonome constitue l'unique mode d'assainissement existant dans la zone d'étude. Cette prédominance est due au coût d'investissement et d'exploitation important des systèmes d'assainissement collectif par réseau d'égout [TEARFUND 2007 ; Enda OI/Gret 2010 ; Verhagen & Carrasco 2013].

Ce mode d'assainissement ne dispose alors de système de collecte, d'évacuation et de traitement des déchets solides, encore moins de celui de collecte, de traitement, d'évacuation des eaux usées.

Souvent, les eaux usées sont directement déversées à même le sol dans la cour ou dans les rues.

Il est aisé de constater que les ordures sont en général jetées pêle-mêle dans les villages, le Fokontany est jonché de dépotoirs sauvages. Et ces derniers deviennent très facilement des zones de défécation à l'air libre.

Les maladies hydriques restent encore prépondérantes sur la santé de la population des zones défavorisées. En effet, la diarrhée est la principale maladie qui sévit la zone d'après le graphe suivant (Figure 3).



Source : Centre de Santé de base Ankadikely Ilafy, Janvier 2014

Figure 3- Répartition des maladies fréquentes dans la Commune Rurale d'Ankadikely Ilafy

2.5. Chaîne d'évacuation d'excréta à Belanitra

2.5.1. Recueil des matières fécales

La réception de l'excréta se fait au niveau des latrines et habituellement à l'air libre. Ainsi 20 zones de défécation à l'air libre ont été recensées au sein de la zone d'étude.

L'insuffisance des latrines (Figure 4) est alors généralisée dans les zones de bas-fonds, à Imamba, à l'exception de quelques habitats respectant les normes de construction (5%). Cette situation est justifiée par le coût d'investissement de ces infrastructures et des caractéristiques du relief de ces zones.



Figure 4- Type de latrine construit au bord de la digue à Poteau Vy

La majorité des habitants de Belanitra épandent leurs tinettes dans les canaux de collecte des eaux usées et dans l'Imamba. Il est à remarquer que les bords de l'Imamba sont favorables à la zone de défécation à l'air libre, la pratique se fait tôt le matin ; et le déversement des tinettes (Figure 5) dès qu'il fait sombre dans la soirée.



Figure 5- Débordement des latrines dans le canal de collecte des eaux usées à Imamba Centre et Poteau Vy

2.5.2. Stockage des excréta

La mise en dépôt des matières fécales pendant un certain temps se fait par trois cas :

- dans les fosses des latrines ;
- dans les tinettes pour être évacuer le soir ;
- dans la nature pour la défécation à l'air libre.

Des latrines communes sont utilisées le long des abords du canal de collecte des eaux usées et de la digue de l'Imamba pour se déverser directement dans l'eau sans fosse de stockage (Figure 5)

Pour le système d'assainissement autonome de cette zone, les éléments clés de la filière : le recueil, le stockage et l'évacuation d'excréta, ont lieu sur place. A Antanimanga Atsimo et Andafiatsianana, partie non inondée et habitable du fokontany, certains pratiquent le recouvrement de fosse pleine et relocalisation de la superstructure un peu plus loin.

Tandis qu'à Imamba où la nappe est affleurante, les latrines à fosse protégée n'existent pas.

2.5.3. Evacuation des excréta

Le processus allant de la mise en dépôt au traitement d'excréta se fait directement dans les canaux de collecte des eaux usées et la cours d'eau à proximité.

La vidange des boues pour les fosses remplies par le transport mécanique ou manuel n'a jamais eu lieu à Belanitra.

2.5.4. Traitement des boues

Le traitement est le devenir final des déchets, c'est l'hygiénisation des matières fécales par différents procédés respectant l'environnement. Il n'est jamais pratiqué par la population de Belanitra.

2.5.5. Valorisation économique des boues de vidanges

La valorisation économique est la réutilisation des produits et sous-produits du traitement dans un intérêt économique et environnemental.

Le traitement et la valorisation de la matière fécale y sont encore tabous.

3. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Pour étudier l'influence de la pollution fécale sur l'environnement et la qualité des eaux destinée à la consommation humaine, des travaux d'analyse ont été effectués au sein du laboratoire de l'hygiène, de l'alimentation et de l'environnement de l'Institut Pasteur de Madagascar (LHAE/IPM).

Ces travaux consistent à :

- effectuer la recherche des indicateurs de contamination fécale ou germes tests de contamination fécale (GTCF) qui ne sont pas pathogènes mais leur présence dans les selles est importante [Someah, 2008].
- confirmer la contamination des différents types d'eau (traitée, souterraine et superficielle) ;
- faire les analyses physico-chimiques qui sont nécessaires pour l'évaluation du degré de la pollution fécale ;
- déduire les mesures d'atténuation des risques pour l'homme et l'environnement ainsi que de permettre le renforcement de la valeur économique des déchets.

Le tableau 2 récapitule les analyses de la pollution fécale réalisées.

Tableau 2 - Récapitulation des analyses de la pollution fécale réalisées

Paramètres		Normes	Type d'eau analysée			
			Traitée	Souterraine	Superficielle	
					Rivière	Usée domestique
Bactériologiques	Escherichia coli	NF EN 9308-3	Test Colilert 18®			Méthode NPP
	Coliformes thermotolérants	NFT 90-413	Test Colilert 18®			
	Entérocoques	NF EN ISO 7899-1	Test Enterolert ®			Méthode NPP
	Spores de bactéries ASR	NFT 90-41		Méthode par incorporation en gélose en tubes profonds		
Physico-chimiques	MES	EN 872 :1996		Dosage par filtration sur fibre de verre		
	DBOn	NF EN 1899-1		Méthode par dilution et ensemencement avec apport d'ATU		
	Azote de Kjeldalh	NF EN 25663		Dosage par minéralisation au sélénium		

Quatre types d'eau ont été analysés :

- Les eaux traitées : en vue de contrôler l'eau du réseau de distribution de la JIRAMA au niveau des bornes fontaines en particulier par rapport à la contamination fécale.

Les paramètres de contamination fécale sont susceptibles d'évoluer en milieu aqueux, les réservoirs d'eau destinée à la préparation des aliments et de boisson des ménages enquêtés ont été également prélevés pour être examinés par rapport à une contamination fécale.

- Les eaux de puits : à Belanitra, milieu périurbain défavorisé, plus de 77% des ménages utilisent encore les eaux de puits traditionnels pour la préparation des aliments et de boisson ainsi que l'hygiène corporelle [Who 2004].

Ces puits sont souvent communs à plus de 3 foyers et ont une profondeur moyenne de 12,5m (Antanimanga Atsimo et Andafy Atsinanana). Mais dans la partie inondable de l'Imamba, les puits sont rares et destinés surtout à l'élevage, cas d'Ambolanambo.

Les puits ont été choisis par rapport à leur proximité à une zone de défécation à l'air libre et/ou une latrine.

- Les eaux superficielles : comprenant 2 types d'eau qui sont les rejets domestiques et la rivière de l'Imamba.
 - Les eaux usées domestiques: constituent généralement l'essentiel de la pollution et se composent :
 - *des eaux de cuisine* qui contiennent des matières minérales en suspension provenant du lavage des substances alimentaires à base de matières organiques (glucides, lipides, protéines), et des produits détergents utilisés pour le lavage de la vaisselle et ayant pour effet la solubilisation des graisses ;
 - *des eaux de douche* chargées en produits utilisés pour l'hygiène corporelle, généralement des matières grasses hydrocarbonées;

- *des eaux vannes* qui proviennent des latrines et des tinettes, très chargées en matières organiques hydrocarbonées, en composés azotés, phosphorés et en microorganismes.

Elles sont déversées dans un canal primaire d'évacuation ou directement dans la rivière de l'Imamba.

- La rivière de l'Imamba

Son point *amont* de prélèvement, désigne la partie la plus élevée de la rivière par rapport à l'observateur, au niveau du pont d'Andafiatsinanana.

Son point *aval* désigne la partie la plus basse de l'Imamba par rapport à l'observateur, à Ambolanambo. Ces deux points sont séparés de 10 km.

3.1. Conduite de prélèvements des échantillons

Les analyses débutent par l'acte de prélèvement qui met en œuvre des méthodes à assurer l'absence de contamination de l'échantillon, la survie bactérienne, et la conservation des paramètres chimiques à déterminer.

Compte tenu des conditions éminemment changeantes des eaux sous l'effet des facteurs naturels et anthropiques, les techniques de prélèvement utilisées ont été maintenues mensuellement au cours de six mois en une même journée et toujours sur les dix mêmes points.

Les prélèvements sont mensuels sur trois mois en saison de pluie (février, mars, avril) et sur trois autres mois en période d'été (août, septembre, octobre).

L'observation de l'aspect des abords et des usages de l'eau de la rivière et du canal d'évacuation des eaux usées est faite pour justifier la source de contamination telle que la présence fréquente de matières fécales surnageantes, les pratiques agricoles environnantes (élevage, amendement du sol,...), la lessive ainsi que les modes de déversement.

Les paramètres tels que l'oxygène dissout, la température et le pH des eaux ont été suivis *in situ* (Figure 6).



Figure 6- Prélèvement des paramètres in situ

Le tableau 3 ci-après récapitule alors les différents points de prélèvement à Belanitra.

Tableau 3 – Les différents points de prélèvement d'eau à Belanitra

N°	Type d'eau	Point de prélèvement	Coordonnées	Code
1	Eau traitée	Borne fontaine Imamba	S18°51.069' EO47°30.822'	ET1
2		Poteau vy	S 18°51.068 EO47°30.822'	ET2
3	Eau de puits	Antanimanga Atsimo	S18°54.247' EO47°31.740'	EP1
4		Andafiatsinana	S18°50.414' EO47°31.974'	EP2
5		Ambolanambo	S18°51.096' EO47°30.759'	EP3
6	Eau usées	Imamba centre	S18°51.069' EO47°30.822'	EU1
7		Poteau vy	S18°51.068' EO47°30.822'	EU2
8		Amboditanimena	S18°51.499' EO47°30.739'	EU3
9	Eau de rivière	Amont Andafiatsinana	S18°54.247' EO47°30.115'	ER1
10		Aval Ambolanambo	S18°51.106' EO47°30.768'	ER2

La carte suivante (Figure 7) montre la représentation sur photographie aérienne de ces points de prélèvement.

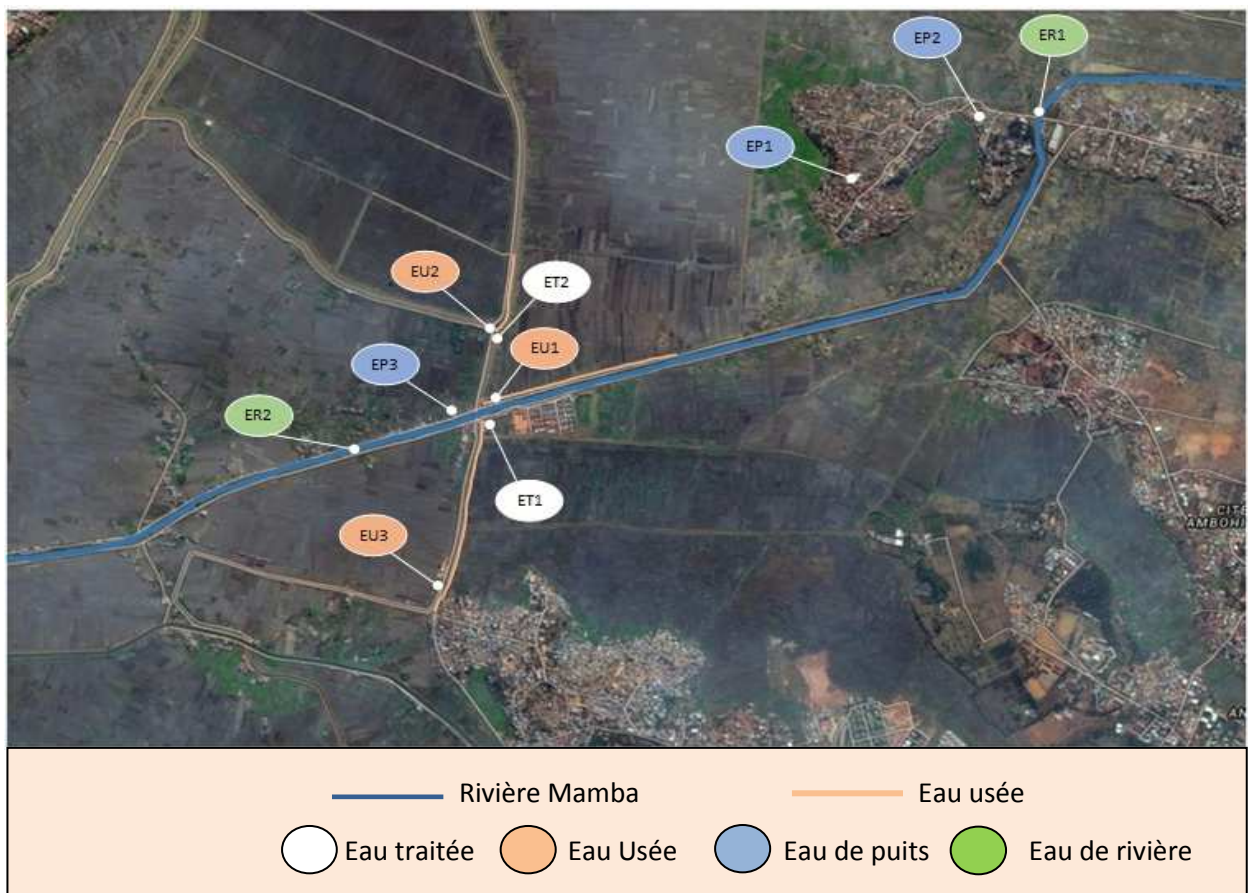


Figure 7- Représentation spatiale des points de prélèvement d'eau

3.2. Recherche des indicateurs microbiologiques de contamination fécale des eaux

Les microorganismes des milieux aqueux proviennent essentiellement des matières fécales qui contiennent majoritairement une flore anaérobie (10^9 - 10^{10} bactéries/g fèces) détruite à l'air, et une flore aérobie-anaérobie facultative (10^6 - 10^7 bactéries/g fèces) [Rejsek 2002]. Ainsi deux groupes de bactéries sont indicateurs de contamination fécale :

3.2.1. Les indicateurs spécifiques

Ce sont les espèces rencontrées exclusivement dans les matières fécales : (i) les Streptocoques fécaux ou entérocoques et (ii) les Coliformes fécaux ou thermotolérants présents en concentration importante dans les selles des mammifères.

Des études ont montrées qu'à l'intérieur de ces deux groupes de microorganismes (Figure 8), l'*Escherichia coli* représente, sur le plan quantitatif, le principal germe de cette catégorie et les entérocoques occupent la deuxième place [Rejsek 2002 ; Who 2004],



Source : Hugo FEON, Traceurs de contamination fécale des eaux de surface

Figure 8 - Photos au microscope électronique à balayage et colorées artificiellement des indicateurs principaux de la contamination fécale

3.2.2. Les indicateurs non spécifiques

La réglementation Européenne de la Directive 80/778 du 15 juillet 1980 fait mention de la recherche d'autres bactéries, comme les coliformes totaux et les *Clostridium sulfitoréducteurs* qui peuvent se retrouver dans les matières fécales mais également vivre et se multiplier dans le milieu naturel.

En l'absence des *Streptocoques fécaux* et des *Coliformes*, la présence des germes non spécifiques laisse des doutes sur la pollution fécale des eaux [Rejsek 2002 ; Who 2004]

Donc, quatre espèces de bactérie font l'objet des analyses microbiologiques de cette recherche:

- *Les Coliformes thermotolérants* ou *Coliformes fécaux*, qui sont les coliformes mais pour une température d'incubation de 44°C.
- L'*Escherichia coli* qui correspond à des coliformes thermotolérants mais qui produit de l'indole à partir du tryptophane et possède les caractères biochimiques spécifiques de cette espèce. Elle est l'espèce principale indicatrice de contamination fécale.
- *Les Entérocoques* : la norme NF T 90-416 sur la recherche et le dénombrement des Streptocoques du groupe D a été remplacée par la norme XP T 90-416 de mars 1996 sur la recherche et le dénombrement des entérocoques.
- Les spores de *bactéries anaérobies sulfitoréducteurs*.

3.3. Méthode d'analyse des indicateurs microbiologiques

3.3.1. Test IDEXX ou méthode de quantification Quanti-Tray

Les recherches des coliformes, des *Escherichia coli* ainsi que des *Entérocoques* (Figure 9) sont réalisées par la technologie des substrats définis, une méthode rapide pour l'analyse des eaux traitées, celles des puits et de la rivière.

L'ajout d'échantillon d'eau au milieu Colilert 18®, contenant de l'O-nitrophenyl-β-D-galactopyranoside (ONPG) et du 4-méthylumbelliféryl-β-D-glucuronide (MUG) provoque le clivage de l'ONPG et se traduit par un virage du milieu au jaune après 18 heures à 35°C±2°C par la présence de coliformes et par apparition d'une fluorescence lors de la présence de *Escherichia coli*.

Tandis que le test Enterolert® permet la détection et la quantification des *Entérocoques* en 24 heures, par apparition d'une fluorescence lors de sa présence.



Figure 9- Préparation des échantillons en test IDEXX et NPP

3.3.2. Méthode miniaturisée par ensemencement en milieu liquide et détermination du nombre le plus probable (NPP)

Méthode de dénombrement des *Entérocoques* et des *Escherichia coli* utilisée pour l'analyse des eaux usées selon la norme NFT 90-413.

C'est une technique de dénombrement en milieu liquide. Les dilutions de l'échantillon d'eau sont incorporées dans des micro-puits (milieu liquide). La croissance des microorganismes se traduit par l'apparition d'un trouble du milieu et, éventuellement, le virage fluorescent de l'indicateur de pH coloré.

Le nombre le plus probable de bactéries présentes est alors estimé par des méthodes statistiques.

3.3.3. Méthode par incorporation en gélose en tubes profonds

C'est la méthode de recherche et de dénombrement des spores de bactéries anaérobies *sulfitoréducteurs*, selon la norme NFT 90-415, qui ont été fait avec les échantillons d'eaux souterraines en sachant que les eaux superficielles sont les sources de contamination.

Après destruction des formes végétatives des bactéries par un chauffage à 80°C, seules les spores vont persister dans l'échantillon.

L'incorporation se fait dans un tube profond afin de réduire la surface de contact entre le milieu et l'air, de manière à limiter l'oxygénation du milieu de culture.

La présence de spores de bactéries anaérobies *sulfitoréducteurs* se traduit par un halo noir autour des colonies. Cette coloration est due aux bactéries qui réduisent les sulfites en sulfures qui réagissent avec les sels de fer (III) présents dans le milieu pour former du sulfure de fer (FeS), précipité de couleur noir.

3.4. Méthode d'évaluation des paramètres physico-chimiques

Les composés des eaux polluées sont très nombreux et variés. Pour déterminer le degré de la pollution fécale, les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux sont les suivantes:

3.4.1. Matières en suspension (MES) des eaux

La méthode utilisée est la filtration sur fibre de verre selon la norme EN 872 : 1996. Les matières particulaires se caractérisent par leur taille importante, supérieure à 10 μ m, qui explique qu'elles se retrouvent en suspension dans l'eau qui sert à leur transport.

La pollution particulaire est de nature organique (fragments d'aliment ou résidus de digestion) ou de nature minérale (sable ou argiles).

Cette méthode est gravimétrique reposant sur le calcul de la masse de matière sèche (en mg/l) obtenue après séparation des MES de l'eau par déshydratation à 105°C, tout en tenant compte du volume filtré.

3.4.2. Demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO₅)

Elle a été déterminée par dilution et ensemencement avec apport d'allyl thio-urée (ATU) selon la norme NF EN 1899-1.

Les matières organiques sont les composés du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène et de l'azote. Elles se présentent alors sous forme de protides, glucides (sucres), lipides (graisses), urée et produits du métabolisme et de dégradation.

La pollution organique rejetée dans le milieu récepteur, sans traitement préalable, entraîne, du fait de sa dégradation par les organismes vivants une diminution de la teneur en oxygène dissout du milieu récepteur et parfois une disparition de la faune existante.

La biodégradation est due à leur instabilité chimique et par l'action des microorganismes de l'eau en formant des composés de plus en plus simples.

La méthode mesure alors la variation d'oxygène dissout au temps zéro et après une incubation à 20°C pendant 5 jours dans un milieu hermétique et obscur. Pour cela, l'échantillon est prétraité par une eau de dilutionensemencée variant selon l'origine de l'eau à analyser.

3.4.3. Azote Kjeldalh (NK)

Le dosage a été effectué par minéralisation au sélénium selon la norme NF EN 25663

Les matières azotées proviennent essentiellement des eaux vannes sous forme organique. L'azote est un constituant essentiel des protéines consommées par l'homme, son métabolisme produit les déchets rejetés dans la proportion de 85% pour l'urine (urée, acide urique) et de 15% pour les matières fécales [Rejsk 2002].

Dans l'eau, l'azote peut être présent sous quatre formes principales (Tableau 4):

Tableau 4 - Les différentes formes d'azote dans les eaux usées

Azote Global NGL			
Azote de Kjeldalh NK		Formes oxydées	
Azote Organique (1/3) N_{org}	Azote ammoniacal (2/3) $N-NH_4^+$	azote des nitrites ou azote nitreux $N-NO_2^-$	azote des nitrates ou azote nitrique $N-NO_3^-$
	Urée – acide urique – créatine – créatinine – acide aminé – peptides - protéines en plus faible quantité		

L'azote organique ne peut alors être déterminé de manière isolée mais le sera avec l'azote ammoniacal sous la forme de l'azote Kjeldalh (Figure 10).

L'azote global (NGL) est alors:

$$NGL = NK + N-NO_2^- + N-NO_3^-$$

Or les formes oxydées de l'azote (NO_3^- et NO_2^-) n'apparaissent qu'au cours de traitement biologique aérobie. Le dosage de l'azote global se réduit alors au dosage de l'azote Kjeldalh. Cette valeur prend en compte la totalité des formes azotées dissoutes ramenées à leur teneur en azote.

Les matières azotées polluantes sont les matières organiques et minérales contenant des atomes d'azote.

En principe, à l'issu d'une minéralisation, l'azote organique se transforme en azote minéral, en présence d'un mélange catalyseur au sélénium.

Cette minéralisation n'est pas efficace sur toutes les formes d'azote organique et les formes azide, azine, hydrazone, nitrite, nitrée par exemple, ne sont pas dosées en totalité. L'azote hétérocycles également n'est pas complètement minéralisé.

L'azote ammoniacal formé en milieu acide se trouve sous forme de sulfate d'ammonium qui s'ajoute à l'azote ammoniacal présent dans l'eau à analyser.

Après la minéralisation, le minéralisât contient uniquement des ions NH_4^+ qui est dosé par distillation.



Figure 10- Détermination de l'azote de Kjeldalh

4. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats de la recherche s'articulent autour :

- de l'analyse bactériologique des eaux ;
- de l'analyse physico-chimique des eaux ;
- des enquêtes menées auprès des ménages sur le mode d'assainissement et d'hygiène à Belanitra.

4.1. Résultats des analyses bactériologiques

4.1.1. Eau destinée à la consommation humaine

- Eau de la Jirama :

Les analyses ont montré que l'eau prélevée au niveau des bornes fontaines du réseau de la JIRAMA est indemne de contamination fécale donc potable.

Par contre au niveau des ménages, en février, un cas s'est présenté où l'eau puisée et conservée dans les réservoirs (bidons jaunes de 20 litres) contenait 2 log₁₀/100ml de *Coliformes thermotolérants* et 1,6 log₁₀/100ml d'*E coli*. Ce cas était rare en période pluvieuse et absent en été.

- Eaux de puits

Les graphes suivants (Figures 11 à 13) montrent l'évolution temporelle des germes test de contamination fécale des ressources en eau souterraine.

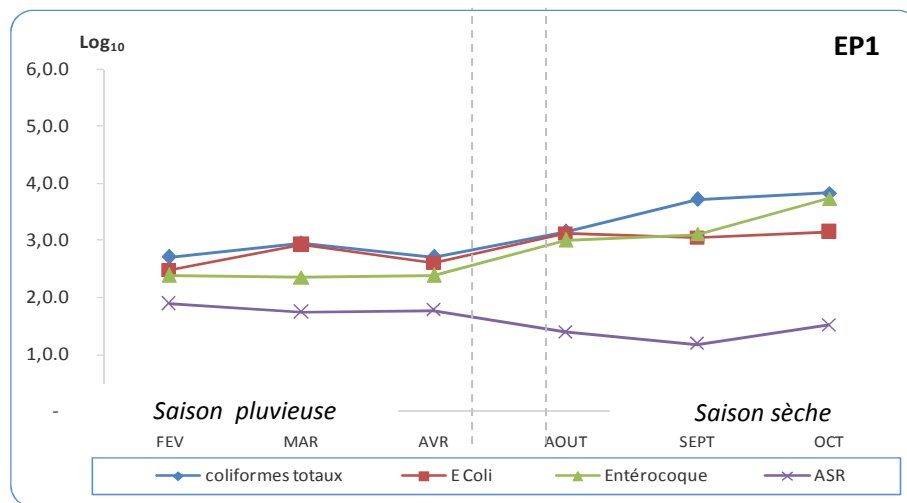


Figure 11- Résultat de l'analyse bactériologique de l'eau de puits d'Antanimanga Atsimo

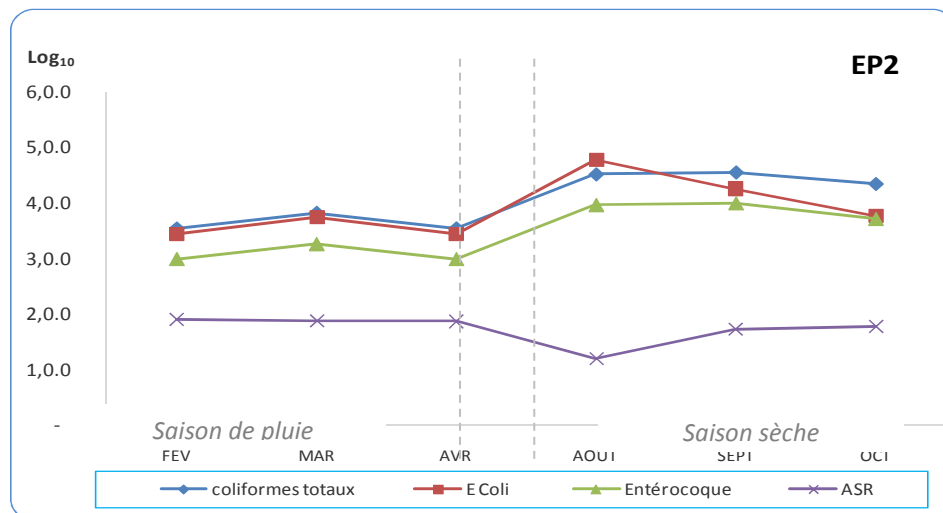


Figure 12- Résultat de l'analyse bactériologique de l'eau de puits d'Andafiatsinanana

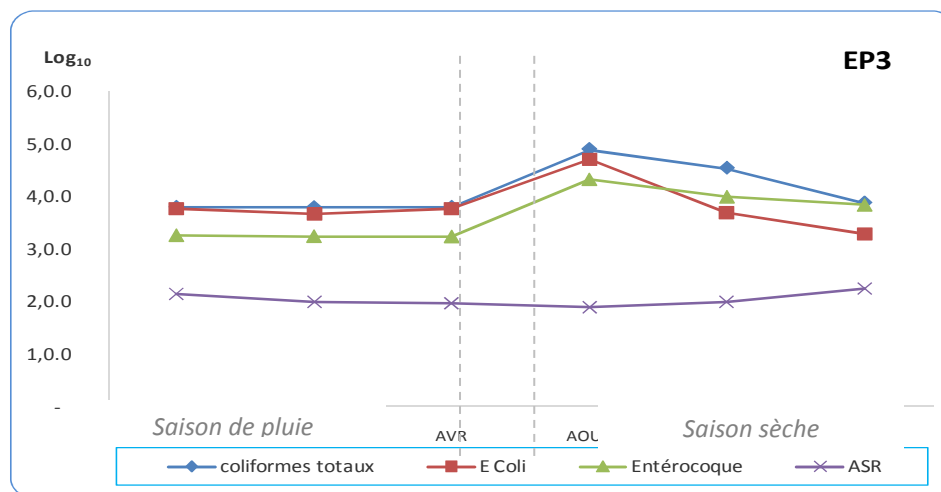


Figure 13- Résultat de l'analyse physico-chimique de l'eau de puits d'Ambolanambo

Les résultats des analyses microbiologiques des eaux de puits montrent que la totalité des ressources en eau souterraines prélevées est polluée par des *Coliformes* totaux, d'*Escherisichia coli* et d'*Entérocoques*. Les spores de bactéries anaérobies *sulfitoréducteurs* dépassent largement les normes de 1,3 log₁₀/100ml.

Le puits d'Ambolanambo (Figure 13) est le plus contaminé, sa teneur en *Coliformes* totaux et en *Entérocoques* peuvent atteindre respectivement jusqu'à 4,9 et 4,3 log₁₀ /100ml, en étiage. Et selon les observations de *Jagals et al.* [Rejsek 2002 ; Beaudreau 2004], un rapport de *Coliformes fécaux* sur *Streptocoques fécaux* supérieur ou égale à 4 peut être considéré comme un indice élevé de contamination fécale d'origine humaine (et un rapport faible montre une origine animale de la pollution). En effet, il est construit au milieu des bâtiments d'élevages comme l'indique la figure ci-dessous. Ce puits est parmi les rares puits de la plaine de l'Imamba. Les eaux de la nappe phréatique se découlent facilement vers ce puits situé en bas fond.



Figure 14 - Puits d'Ambolanambo entouré d'élevages à cycle court et de bovidés

Sinon celui d'Andafiatsinanana ci-après (Figure 15) est construit également au milieu des élevages pour faciliter les pratiques d'élevage et les tâches quotidiennes ménagères. En effet, la majorité des ménages à Belanitra pratiquent l'élevage pour améliorer leurs revenus.

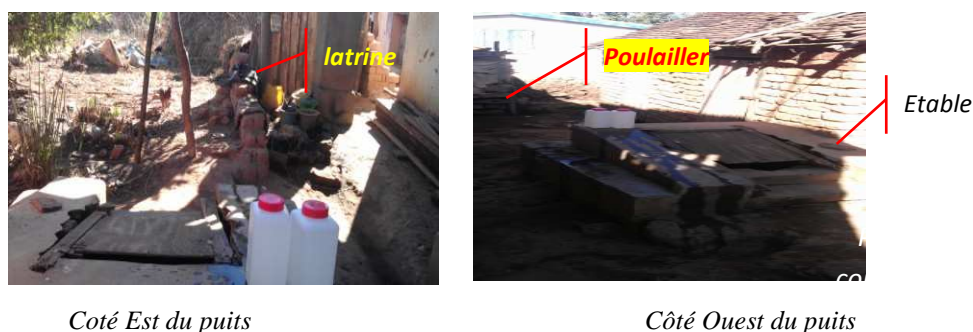


Figure 15- Latrine et puits commun à Andafiatsinanana entouré d'élevage avicole, porcicole et bovidé

Même en quantité faible inférieure à $2,3 \log_{10} / 100\text{ml}$, en octobre, la présence des spores de bactéries anaérobies *sulfitoréducteurs* dans tous les puits suffit à confirmer la contamination fécale des nappes phréatiques de Belanitra.

On constate une légère augmentation du niveau de la contamination bactériologique en saison sèche.

4.1.2. Eaux de surface

Les graphes suivants (Figures 16 à 18) montrent les résultats des analyses microbiologiques des eaux du canal de collecte des eaux résiduaires domestiques.

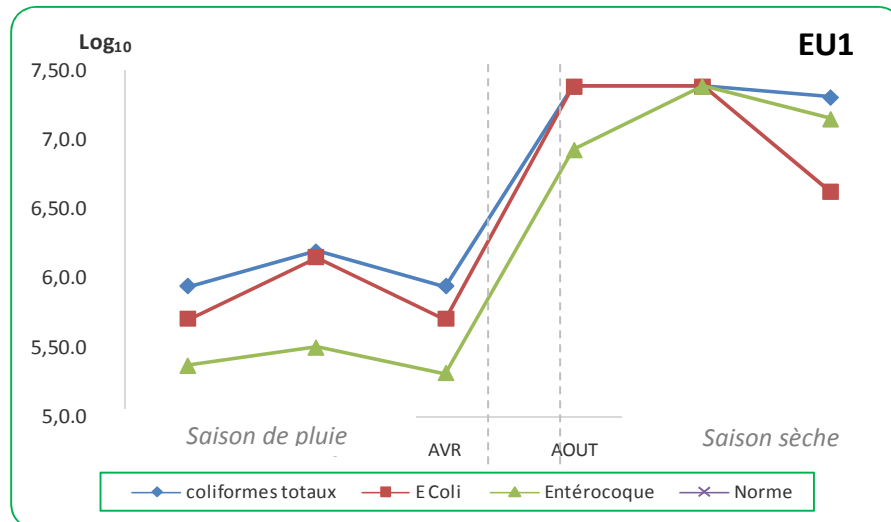


Figure 16- Résultats de l'analyse bactériologique de l'eau prélevée dans le canal à Imamba centre

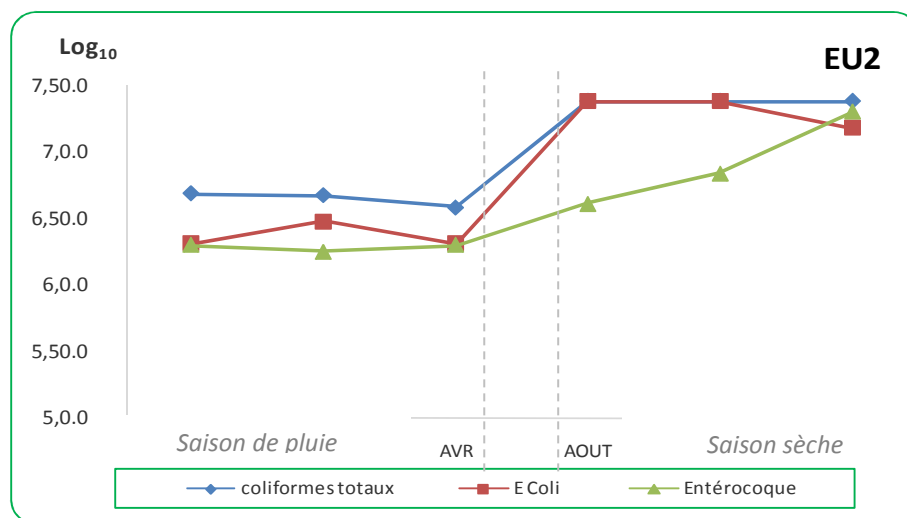


Figure 17- Résultats de l'analyse de l'eau prélevée dans le canal à Poteau vy

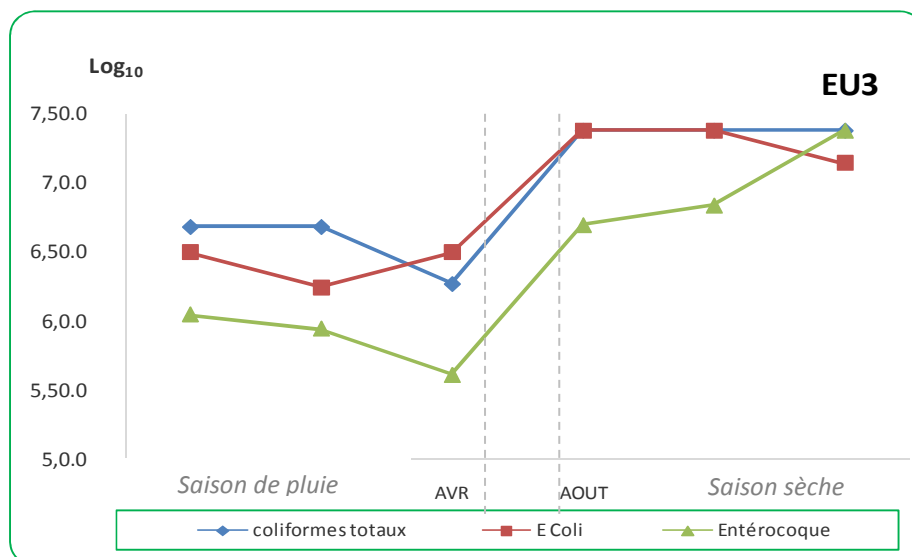


Figure 18- Résultats de l'analyse de l'eau prélevée dans le canal à Amboditanimena

Les résultats des analyses des échantillons des eaux résiduaires domestiques présentent une valeur constante élevée en *Coliformes thermotolérants* (plus de 5,9 log₁₀ /100ml) et *Entérocoques* (plus de 5,3 log₁₀ /100ml) durant les deux trimestres. Elles dépassent largement la norme de rejet liquide malagasy (moins de 3,30 et 3 log₁₀/100ml).

Pour le rapport de confirmation, il atteint 6 log₁₀/100ml, en août. La pollution fécale est surtout d'origine humaine, malgré l'existence des élevages et de l'amendement des cultures, riverains à ces eaux.

On constate une nette augmentation du niveau de la pollution en saison sèche (août, septembre, octobre). Ceci peut s'expliquer par la forte dilution des eaux du canal pendant la saison de pluie.

Les graphes suivants (Figures 19 et 20) montrent le résultat de l'analyse bactériologique de la rivière Imamba :

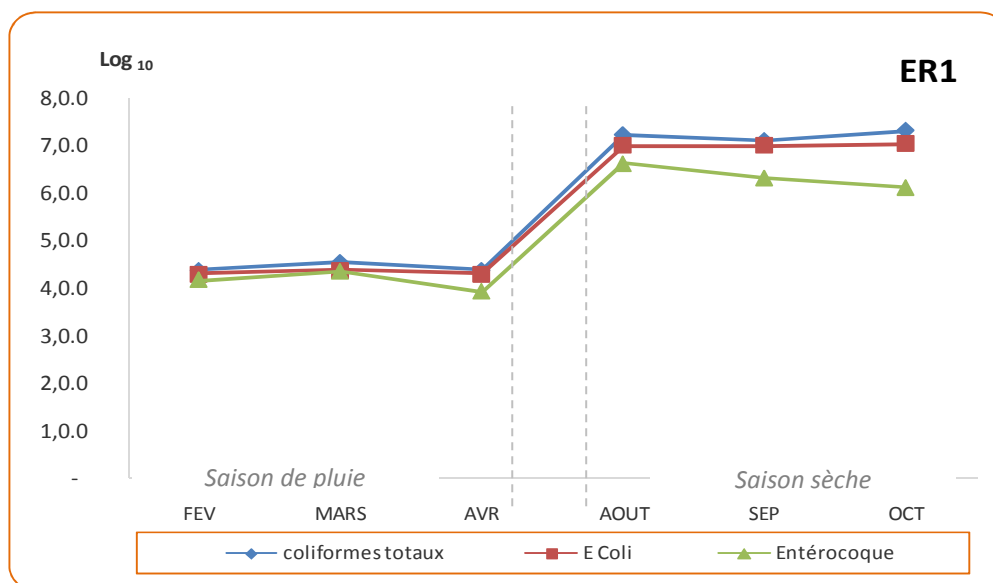


Figure 19- Résultat de l'analyse bactériologique en amont de la rivière Imamba à Andafiatsinanana

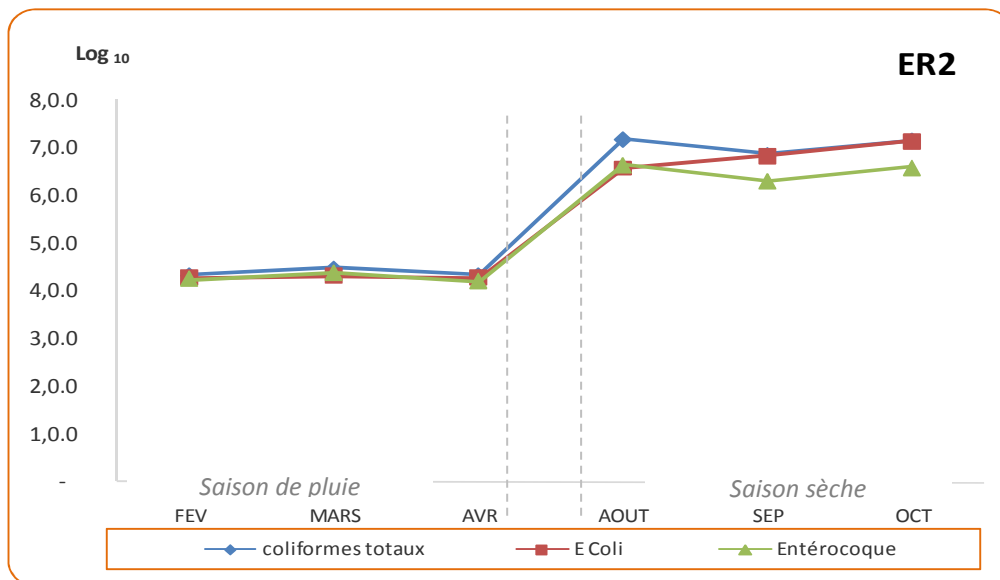


Figure 20- Résultat de l'analyse bactériologique en aval de la rivière Imamba à Ambolanambo

La contamination fécale humaine de la rivière est confirmée, cependant, en saison pluvieuse la confirmation de cette origine est assez difficile car il y a une augmentation des phytoplanctons dans la rivière de l'Imamba et il y a des espèces d'*Entérocoques* se retrouvant de manière naturelle sur les végétaux mais aussi dans divers produits fermentés, ce qui atteste d'une absence de spécificité qui doit être prise en compte pour l'interprétation des résultats [Rejsek, 2002, Who, 2004].

4.1.3. Evolution temporelle de chaque indicateur dans les eaux

Par contre, les graphes suivants (Figures 21 à 23) montrent l'évolution temporelle de chaque indicateur dans les eaux.

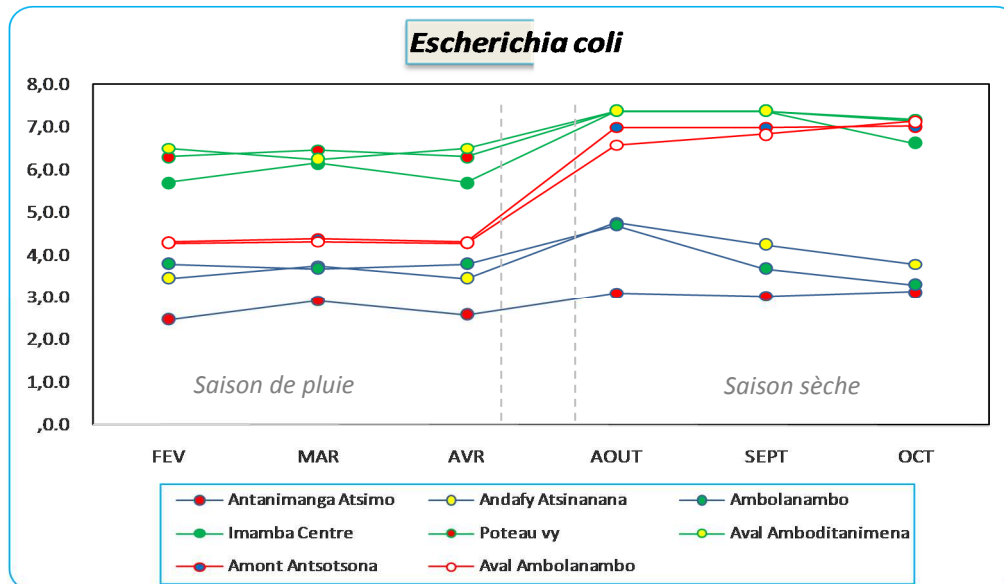


Figure 21- Evolution de l'*Escherichia coli* dans tous les types d'eau

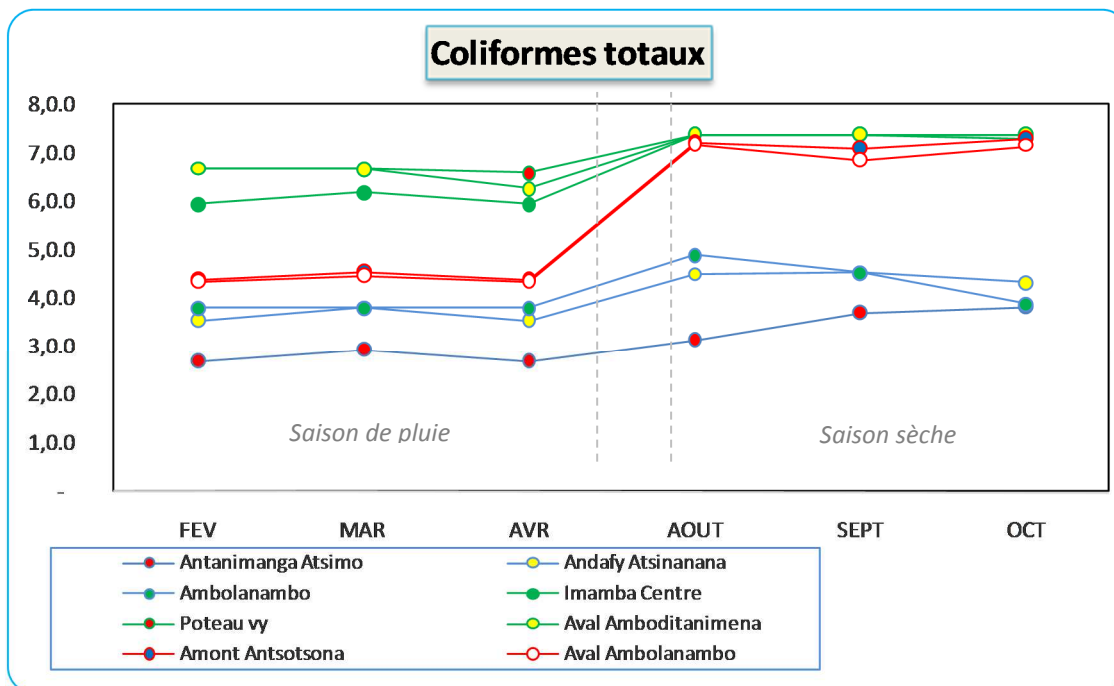


Figure 22- Evolution des *Coliformes* totaux dans les eaux

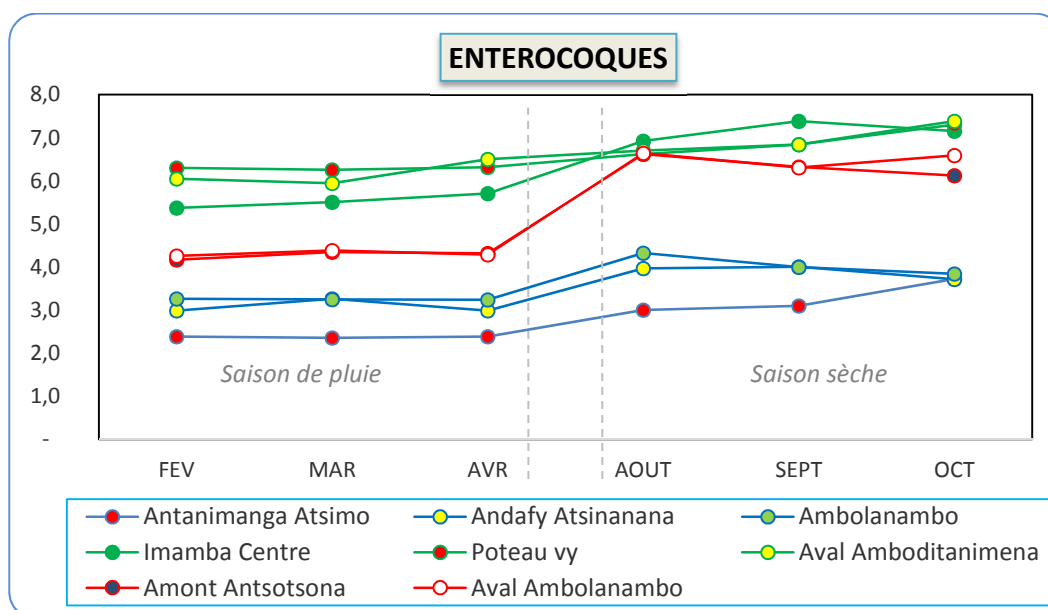


Figure 23- Evolution des *Enterocoques* dans les eaux

Les eaux superficielles notamment les eaux usées sont les plus riches en germes pathogènes constituant l'essentiel de la pollution.

Il est à noter que les résultats microbiologiques obtenus se rapprochent de ceux de certains auteurs comme AISSI en 1992, KIKI MIGAN en 1993, CON en 1994 à Cotonou qui ont retrouvé des taux de *Coliformes* dépassant largement 103 colonies par 100ml ou 2,01 log₁₀/100ml [Chippau 2002 ; Bricha 2007].

4.2. Résultats des analyses physico-chimiques

4.2.1. Evaluation de la pollution particulaire

Le graphe suivant (Figure 24) montre les résultats de l'analyse des MES des eaux en étiage.

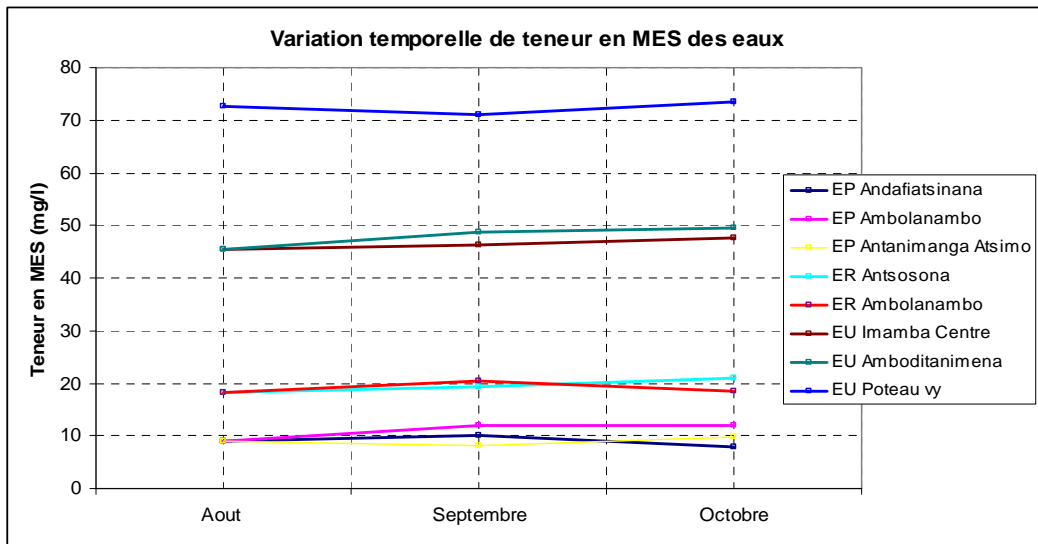


Figure 24- Variation temporelle de la teneur en MES des eaux

La teneur en MES des eaux respectent les normes en vigueur (50 mg/l) sauf pour le cas des eaux usées de Poteau vy.

4.2.2 Evaluation de la pollution organique

Les différentes valeurs en DBO₅ des eaux sont montrées par le graphe suivant (Figure 25) :

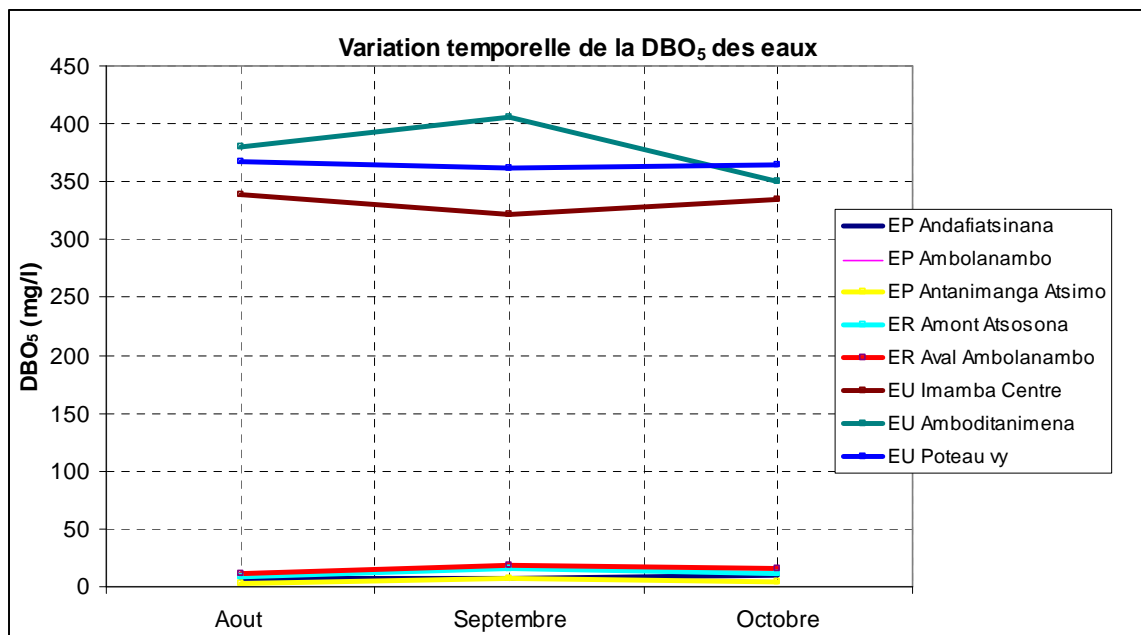


Figure 25 Variation temporelle de la DBO₅ des eaux

Les valeurs en DBO₅ des eaux usées supérieures à 300mg O₂/l indiquent que les polluants organiques sont difficilement biodégradables en milieu naturel.

Pour les eaux usées, la mesure de la DBO₅ a montré des valeurs largement supérieures à 50mg O₂/l de la norme des rejets liquides malagasy. La pollution des eaux usées domestiques est tellement élevée ce qui explique la pollution du milieu récepteur c'est-à-dire la rivière de l'Imamba qui est alarmante.

4.2.3. Evaluation de la pollution azotée

Les résultats de l'analyse correspondants, en saison sèche sont donnés par le graphe suivant (Figure 26) :

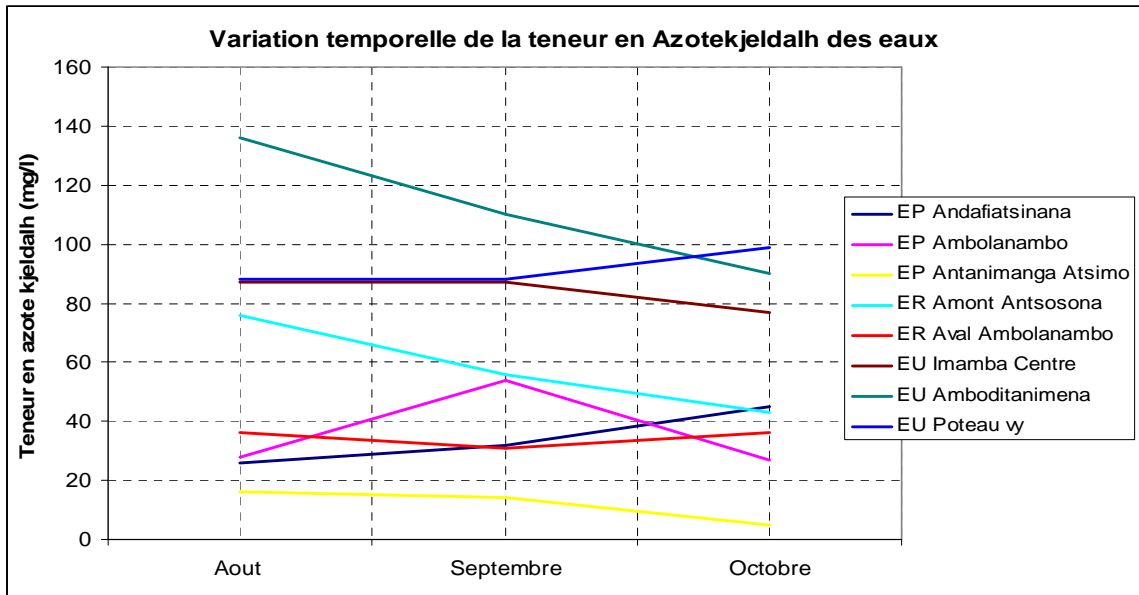


Figure 26 – Variation temporelle de la concentration en azote de Kjeldalh des eaux

La teneur en azote de Kjeldalh des eaux usées dépasse largement la valeur limite autorisée par la norme (20 mg/l). Pour les eaux de puits et la rivière, elle dépasse largement la norme de potabilité qui est de 2 mg/l.

Ainsi, les valeurs mesurées sur les eaux des puits ont montré que les eaux souterraines sont polluées. Il faut remarquer qu'elles se rapprochent des caractères physico-chimiques de l'eau de la rivière. La pollution fécale des puits en zone défavorisée est alors grave.

Les teneurs élevées en azote de Kjeldalh et en DBO₅ suffisent alors pour traduire une pollution fécale des eaux étudiées.

Une variation des valeurs physico-chimiques est à noter entre l'amont et l'aval de la rivière de l'Imamba.

4.2.4. Evaluation de la pollution fécale des eaux

Les résultats physico-chimiques ont confirmé la potabilité de l'eau de la JIRAMA par rapport aux paramètres de contamination fécale.

La présence en faible quantité de coliformes totaux (2 log₁₀/100ml) et d'*E coli* (1,6 log₁₀/100ml) dans l'eau traitée n'induit pas forcément une contamination fécale du fait de l'absence des *Entérocoques* [Rejsek 2002, Who 2004 ; Bricha 2007] mais surtout au manque d'hygiène des réservoirs qui ne sont pas bien lavés avant le recueil des eaux.

Les eaux des effluents résiduaux domestiques et de l'Imamba présentent évidemment des germes test de contamination fécale car les déversements des eaux vannes y sont directs et réguliers. Ces eaux deviennent la source de contamination de la nappe phréatique.

Les résultats de l'analyse physico-chimique des autres sources d'eau montrent la présence de la pollution fécale.

- *Degré de la pollution fécale de la rivière de l'Imamba*

La comparaison des analyses bactériologiques et physico-chimiques des eaux par rapport aux normes de classification des eaux de surface est donnée dans le tableau 5 suivant.

Tableau 5 – Classification de la rivière de l'Imamba

Paramètres	Unité	Mesures Moyennes	Classe A	Classe B	Classe C	Hors Classes
Coliformes totaux	log ₁₀ /100m l	3,78	Indemne	Indemne	Indemne	≥0
<i>Escherichia coli</i>		3,54	Indemne	Indemne	Indemne	≥0
Streptocoques fécaux		3,32	Indemne	Indemne	Indemne	≥0
Anaérobies sulfito-réducteurs		-	Indemne	Indemne	Indemne	≥0
Oxygène dissous	mg/l	1,80	5 ≤	3 - 5	2 - 3	<2
DBO ₅	mg O ₂ /l	141	5 ≤	5 - 20	20 - 70	70 <
Température	°C	24	<25	25 - 30	30 - 35	35 <
pH		6,7	6,0-8,5	5,5 - 6,0 ou 8,5 - 9,5	5,5 - 9,5	-
MES	mg/l	29	<30	30 - 60	60 - 100	100 <

Selon la classification des eaux de surface et les normes de rejet d'effluents aqueux dans le milieu naturel, la rivière de l'Imamba est catégorisée hors classe. La présence de germes pathogènes, les paramètres oxygènes dissous et DBO₅ désignent directement cette classe, où la contamination est excessive, aucun usage n'est possible à part la navigation pour cette rivière.

Une tendance autoépuration de l'effluent de l'Ikopa est à remarquer par les mesures *in situ* de l'oxygène dissout en amont (4,16mg O₂/l) et à l'aval (4,86mg O₂/l) qui connaissent une légère oxygénation du fait de la présence des phytoplanctons et du débit de la cours d'eau [Someah, 2008]. Cependant, l'autoépuration n'arrive pas à éliminer les charges polluantes à cause de l'apport excessif de charges polluantes par les eaux usées domestiques.

- *Degré de la pollution fécale des eaux usées*

Le tableau 6 suivant montre la comparaison des rejets liquides domestiques du fokontany de Belanitra par rapport aux normes de rejet liquide malagasy.

Tableau 6 – Comparaison des résultats avec les normes nationales de rejet liquide

Paramètres	Unité	Normes Malagasy	Moyenne des mesures
Coliformes totaux	log ₁₀ /100 ml	[1,30 - 3,30]	6,89
<i>Escherichia coli</i>	log ₁₀ /100 ml	2	6,73
Streptocoques fécaux	log ₁₀ /100 ml	[1,30 - 3]	6,43
Clostridium sulfito-réducteurs	log ₁₀ /100 ml	2	-
pH		[6,5 – 9,0]	6,6
DBO ₅	mgO ₂ /l	50	358
NTK	mg/l-N	20	95
MES	mg/l	50	56

Tous les paramètres dépassent les valeurs limites admises sauf pour le cas du pH. On constate même un écart énorme de 616% par rapport à la norme pour le DBO₅, indicateur de la pollution organique des eaux.

Il faut donc prévoir le traitement biologique (lit bactérien ou boues activées) des eaux usées avant le rejet dans la rivière pour conserver la qualité de l'eau environnante.

4.3. Analyse socio-économique

Souvent, les puits sont communs à quelques foyers pour des raisons foncières. Le coût de construction d'un puits n'est pas également accessible à tous les ménages. L'entraide communautaire est alors adoptée. Mais ceci a un inconvénient néfaste sur la santé et l'environnement en favorisant la prolifération de la contamination.

Lors de l'enquête menée auprès des ménages, 2 personnes sur 7 vivants à proximité des zones de défécation à l'air libre ont la diarrhée en saison pluvieuse. Un taux qui semble être faible. Dans ce cas, il s'agit essentiellement d'une augmentation des microorganismes totaux ou des coliformes totaux pour lesquels une tolérance est admise [Rejsek 2002, Who 2004]. Mais cette situation pourrait s'aggraver compte tenu de la croissance démographique.

Même en quantité élevée, plus de 12 log₁₀/100ml les *Coliformes* et les *Escherichia coli* ne sont pas pathogènes [OMS 2006, Pourcher 2012] car elles ne sont qu'indicateurs de contamination fécale des eaux. Ces bactéries n'ont pas alors d'impact sur la santé humaine ou sur le dysfonctionnement des écosystèmes aquatiques. Mais, la pollution fécale existante peut être une nuisance : une pollution sensorielle (visuelle et olfactive) [Beaudeau 2004] et pourrait atteindre la dignité humaine.

La contamination fécale est dite dangereuse dans le cas où l'excréta diffusé dans la nature est contaminé par des germes pathogènes et des parasites ce qui n'est pas rare. Donc la surveillance de la pollution fécale permet d'approcher des facteurs de risque épidémique [Beaudeau 2004, Bricha 2007, Givord 2010].

La pollution fécale est de type « chronique » car les émissions des polluants sont répétées voire même très rémanentes en zone défavorisée du fait du mode d'assainissement défaillant.

4.4. Effets et impacts de la contamination fécale des eaux

4.4.1. Milieux contaminés par la pollution fécale

Les milieux dégradés ou exposés aux risques de la contamination sont :

- *Les eaux*

L'eau noire des tinettes, des latrines volantes (fly bag) et de la défécation à l'air libre (au bord des eaux) sont évacuées régulièrement dans l'effluent d'eau résiduaire domestique et déversée directement dans l'Imamba. Ces eaux superficielles sont riches en polluants organiques et en germes pathogènes deviennent alors la source de contamination des ressources en eaux.

En saison pluvieuse, le ruissellement des zones de défécation à l'air libre vers les bas fonds pollue les eaux superficielles. Et l'infiltration des zones de défécation à l'air libre dans la nappe phréatique est la source de contamination de l'eau de puits traditionnels à proximité, en étiage.

L'eau traitée et conservée au niveau des ménages risque également une contamination fécale lors de son utilisation par mauvaise pratique de l'hygiène (transmission oro-fécale, les mouches, les cafards).

L'étude de la chaîne d'évacuation d'excréta en milieu défavorisé a pu mettre en évidence les différentes formes de « défécation à l'air libre reportées » [Verhagen 2013] qui auront les mêmes impacts que la défécation à l'air libre.

Actuellement la pollution est alarmante et l'évolution de la pollution organique risque l'eutrophisation de la rivière de l'Imamba par rapport à la croissance démographique et au changement climatique.

- *Le sol*

Les résultats montrent que de manière générale, le temps de survie des bactéries dans le compartiment sol est très variable : il se compte parfois en semaine, mais aussi en mois, et même quelquefois en année, par exemple dans le cas d'un sol gelé (Blood & Henderson, 1968 in Majdoub *et al.*, 2003 ; Dorioz *et al.*

Gessols, 2008). Dans certains cas on note une quasi «naturalisation» de populations de *Escherichia coli*, à bas niveaux, dans des sols (Texier *et al.*, 2008) ou sédiments [Pourcher 2010].

Globalement, la chaîne «stockage - végétation – sol» a un pouvoir épuratoire évident. Donc par rapport à la pollution fécale, le sol ne connaît pas de dégradation mais l'enrichie au contraire en matières organiques, azotées et phosphorées [Dagerskog 2009 ; Barrage 2010, Dagerskog 2013].

- *Les aliments*

Ce sont plutôt ceux qui se mangent crus et contaminés issus des cultures arrosées ou irriguées par les eaux usées ou l'eau de rivière contaminées dont les cultures maraichères (salades, choux, tomates, cressons,...) [OMS, 2006].

4.4.2. Vecteurs de transfert de la contamination fécale

Les vecteurs non considérables de contamination fécale par rapport au transfert hydrique sont :

- les insectes : mouches et cafards,
- l'homme même par la baignade dans l'Imamba ou tout simplement par ses mains, c'est la transmission oro-fécale par insuffisance ou mauvaise pratique de l'assainissement et de l'hygiène en particulier pour les vulnérables.

Compte tenu des résultats obtenus, le transfert des polluants dans les rejets aqueux et les usages de l'eau (captages, baignades...) peuvent conduire à des expositions significatives par ingestion d'eau contaminée.

4.4.3. Vulnérabilité de la population pauvre face à la contamination fécale

Les résultats de l'enquête confirment les conclusions de Ratsimijanona, que la pauvreté favorise la pression sur les ressources par la mauvaise pratique de l'assainissement et de l'hygiène [Ratsimijanona, 2011]. En effet, la bonne pratique de l'hygiène est liée à un investissement financier, qui n'est pas une priorité pour une population en crise sociopolitique actuellement.

4.4.4. Impact du traitement des eaux polluées

Plus l'eau est riche en microorganismes, plus elle dégrade vite. Les bactéries hétérotrophes qui dégradent les matières organiques, incluant les coliformes, s'expriment en fonction de la DBO₅ (Coliformes Totaux = 127 455 DBO) tandis que les bactéries nitrifiantes, attachées aux matières en suspension, peuvent être représentées en fonction de ces dernières (Biomasse. Nitrate = 1.06 MES) selon Tusseau-Vuillemin, M.-H. *et al.* (2005). Donc le traitement biologique est plus approprié avant déversement des eaux usées dans la nature ou la dépollution de la rivière de l'Imamba [Tusseau-Vuillemin, 2007].

La filière de traitement à installer pour produire de l'eau potable à partir des eaux contaminées est en fonction de leur degré de pollution.

Le contrôle de la contamination fécale des eaux destinées à la production d'eau de consommation humaine doit donc passer par

- un programme efficace de maîtrise du lieu incluant un contrôle des élevages riverains et la protection des ressources en eau notamment les puits,
- un traitement efficace des eaux usées avant un déversement dans le milieu naturel,
- un traitement de potabilisation efficace et bien suivi des ressources en eau (eau de rivière et eau de puits),
- mais surtout l'éducation des autorités responsables aux risques associés à ces polluants.

Cependant, dans un contexte de crise socio-économique actuelle, la pratique de la défécation à l'air libre paraît inévitable. Mais leur réduction à des niveaux acceptables pour la société est un objectif possible à atteindre. La contamination fécale ne peut être totalement éliminée car les interactions socio-environnementales sont nombreuses mais avant d'envisager l'eau propre il serait logique de regarder ce que nous faisons de l'eau sale.

5. SUGGESTIONS

A l'issu de ces résultats, les mesures d'atténuation des risques pour l'homme et l'environnement sont basées sur le cycle de contamination même. La Figure 27 montre le cycle vertueux de la contamination fécale des eaux de différentes natures.

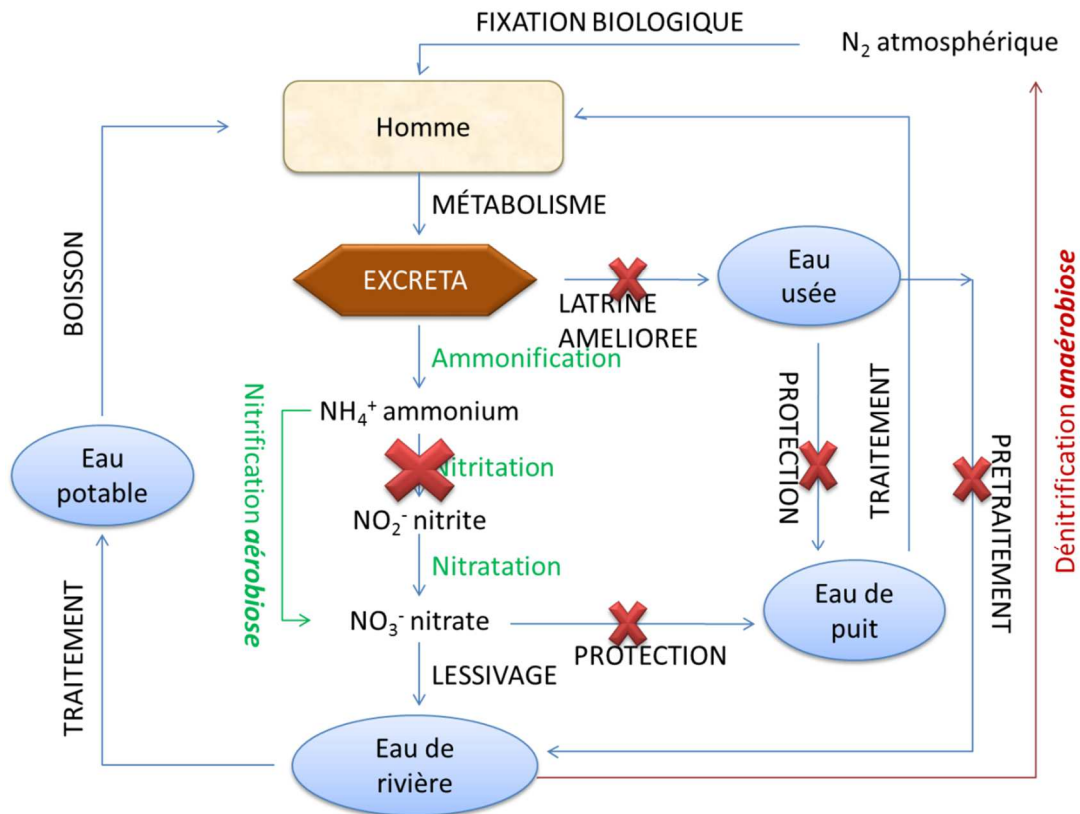


Figure 272. Cycle vertueux de la contamination fécale des eaux de différentes natures

Les suggestions suivantes sont alors proposées pour l'amélioration de l'assainissement incluant la gestion d'excréta en zone défavorisée :

- Pour réduire les expositions, les mesures prioritaires sont la réduction des émissions pertinentes : construction de latrines qui satisfait aux critères des "sanitaires améliorés" du JMP - Programme commun de suivi, puis la dépollution des milieux contaminés : protection des sources de captage et souterraine [OMS 2004 ; Boudet 2011]
- Surveillance et maintien de la qualité et de l'agrément de l'eau potable, de l'assainissement et de l'hygiène par:
 - o des contrôles systématique de la contamination de l'environnement notamment la surveillance des ressources en eaux en assurant une gestion intégrée des ressources en eau effective.
 - o la mise en place de mesures correctives et interdiction provisoire de la distribution ou de la consommation d'eau contaminée sera appliquée. (mettre en place un code de l'assainissement incluant la lutte contre la défécation à l'air libre)
 - o la diffusion des résultats d'analyses de contrôle qui auront un caractère public et communicable (transmission régulière des bulletins d'analyse réglementaire, assortis de commentaires sanitaires, et ceux-ci portés à la connaissance du public bénéficiaire (gouvernance du secteur Eau Assainissement et Hygiène).
- Renforcer la lutte contre les zones de défécation à l'air libre : non seulement par le changement de comportement mais avec des mesures d'accompagnement effectives compte tenu de la réalité de la vie des démunis. La lutte sera plutôt axée vers la réduction de la contamination de l'eau à la source pour permettre de limiter l'ampleur des traitements nécessaires et éventuellement aussi de diminuer la

quantité de sous-produits de traitement générée et de minimiser les coûts d'exploitation.

- Mobilisation et responsabilisation des différents acteurs du secteur Eau, Assainissement et Hygiène (Gouvernement, société civil, privée, ... jusqu'à la population la plus vulnérable).
- Renforcer la valeur économique des déchets en vulgarisant et adoptant les latrines sèches ou latrines écologiques en milieu défavorisé.
- Cette recherche pourrait être une piste de normes de chaque maillon de la chaîne de gestion d'excréta. En effet, les normes nationales en assainissement méritent une mise à jour et une mise en application.
- Des investissements lourds ont été consentis depuis 2008, pour améliorer l'approvisionnement en eau, mais les avantages sanitaires escomptés ont été fortement limités par les faibles progrès réalisés dans d'autres domaines dont celui de la gestion des excréments humains. Donc l'articulation et l'échelonnement des maillons de la chaîne en milieu défavorisé est à suggérer pour une lutte pertinente contre la défécation à l'air libre. Ceci est confirmé par l'étude de Dagerskog ci-après (Tableau7).

Tableau7 – la réduction des pathogènes par rapport aux barrières multiples lors de la réutilisation des eaux contaminées par des fèces, urines et eaux grises

N°	Barriere sanitaire	Réduction de pathogène (log ₁₀ /100 ml)
1	Cuisson des produits récoltés	6 - 7
2	Traitement et/ou stockage des excréta selon les directives OMS	6
3	Rétention entre la dernière application et la récolte pendant 1 mois	4 - 6
4	Traitement des eaux grises	1 - 4
5	Utilisation d'un produit désinfectant et ensuite laver les produits récoltés avec de l'eau propre	2
6	Eplucher les produits récoltés	2
7	Enfouissement de l'urine ou les fèces dans le sol lors de l'application	1
8	Laver les produits récoltés »s avec de l'eau	1

Source : *Linus Dagerskog*,

Le traitement et/ou stockage des excréta reste la meilleure pratique d'assainissement pour réduire la contamination des germes pathogènes fécaux, après la cuisson des aliments contaminés.

Le dernier tableau 8 suivant présente l'articulation et l'échelonnement de la chaîne avec les risques afférents pour réaffirmer les suggestions ci-dessus.

Tableau 8 - Amélioration de la chaîne d'évacuation en milieu défavorisé

Construction & utilisation des latrines améliorées* Plaidoyer pour l'habitude d'hygiène		Vulgariser Fiabilité des services d'assainissement Protection de l'environnement			
1. Recueil		2. Stockage	3. Evacuation adéquate	4. Traitement hygiénique	5. Valorisation économique
TYPES	A l'air libre	Fosse perdue	Enfouissement	Arborloo	Fertilisants,
	Cours d'eau, mer	Fosse double	Vidange	Site de dépotage	Bioénergie,
	Lava-piso	Fosse septique (béton, plastique)	Transport	Transformation (<i>séchage, fermentation, compostage,...</i>)	Irrigation,
	Latrines traditionnelles	Fosse vidangeable	Canaux d'égout		Sous produits...
	Latrines durables, adaptées et hygiéniques	Fosse à système de réseau d'égouts			
RISQUES	DAL	DAL REPORTEE			
	Non accessible	Non couvert	Vecteurs	Vecteurs	Non respect des normes d'utilisation
	Ni intime ni sécuritaire	Vecteurs	Renversé	Inexistence dépotage	
	Insalubre		Fuite	Non respect des normes de traitement hygiénique	
	Non utilisée/partiellement		Inaccessibilité (urbain)	Inexpérimenté	
	Non hygiénique				
	Inexistence de DLMS				
	Sans maintenance				
Vecteurs					
CIBLE	Public	Public	Vidangeurs Public	Ouvriers Voisinage du dépotage	Public usager Consommateurs

**Latrine améliorée* : latrine à fosse protégée contre les infiltrations avec une superstructure propre contre les vecteurs

5. CONCLUSION

La zone de Belanitra connaît une situation difficile en ce qui concerne l'assainissement et l'approvisionnement en eau « potable ». La pollution fécale des eaux y est à la fois superficielle et souterraine.

A l'état actuel, cette pollution est alarmante car les résultats de l'analyse bactériologique et physico-chimiques montrent des valeurs limites dépassant largement les normes nationales. Ainsi, elle risque d'être dangereuse pour la santé humaine et l'environnement.

En réalité, la déficience du mode et la pratique d'assainissement et de l'hygiène des habitants même est la cause principale de cette contamination dont :

- L'insuffisance et la défaillance des latrines utilisées favorisent le ruissellement et l'infiltration des polluants d'origine fécale.
- L'inexistence du mode d'évacuation approprié assure la prolifération des contaminants superficielle et souterraine ;
- Comme l'étape précédente y est absente, le traitement des boues de vidange ne peut pas y exister. Cette situation va engendrer des défécations à l'air libre reportées.
- La valorisation des déchets assurant l'équilibre écologique y est encore taboue jusqu'à présent.

Pour l'efficacité de la lutte contre la défécation à l'air libre, il est essentiel de protéger les ressources en eau souterraine et l'effluent de l'Ikopa contre les polluants fécaux.

Le traitement de l'eau de puits est une action rare en milieu défavorisé, l'adduction en eau potable des ménages alimentés par l'eau de puits traditionnel est alors remise en question à l'issue de cette étude.

En bref, avant d'envisager l'eau propre il serait logique de regarder la finalité de l'eau sale car « rien ne se crée, rien ne se perd, tout se transforme ».

6. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Beauveau, P., (2004), « *Déterminants naturels et humains des pollutions fécales accidentelles des petites unités d'alimentation en eau potable* », Institut de veille sanitaire

Enda OI/GRET, (2010), « *Eude de faisabilité socio-économique pour l'amélioration des conditions d'assainissement dans les quartiers défavorisés de l'agglomération d'Antananarivo* »

OMS- Organisation mondiale de la Santé, (2006). « *Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères* ». Volume IV : utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture. [en ligne] Genève: OMS Disponible sur: <http://www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/gsuweg4/fr/index.html > [consulté le 15 juin 2014]

OMS, (2004), « *Directives de qualité pour l'eau de boisson* », Troisième édition volume 1 recommandations

Pourcher, A.-M., (2012), « *Des microorganismes et des composées chimiques pour identifier les sources de contamination fécale: étude de leur persistance en microcosmes et de leur présence dans les eaux à l'échelle d'un bassin versant* », Sciences eaux et territoire N°9

Rakotoniaina, P., (2012), « *Secteur eau potable et assainissement : pour une approche intégrée et dirigée vers les besoins des usagers* » Rapport d'activité de la Banque mondiale

Rasolofomanana, L., (2012), « *un regard critique sur la gouvernance du secteur eau, assainissement et hygiène à Madagascar* »

Rejsek, F., (2002), « *Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques* », Série scientifiques et techniques de l'environnement

SOMEAH/Sandandrano, (2008), « *Alimentation en eau potable des communes périphériques à Antananarivo* », Etude de préfaisabilité

TEARFUND, (2007), « *Assainissement et hygiène dans les pays en voie de développement : Identifier les obstacles et y apporter des réponses* » Étude de cas à Madagascar

Verhagen, J. et Carrasco, M., (2013), « *Mise en place d'une filière complète d'assainissement pérenne: les services d'assainissement non collectif* », IRC-Centre international de l'eau et de l'assainissement

WHO, (2004), « *Guidelines drinking water quality* », volume 1, Third Edition